

**PENGARUH PERKUATAN MORTAR JAKET DENGAN VARIASI
KONFIGURASI TULANGAN LONGITUDINAL BAMBU PADA
KOLOM BETON BERTULANG**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**NURMADINAH J.
NIM. 155060101111038**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2018

LEMBAR PENGESAHAN**PENGARUH PERKUATAN MORTAR JAKET DENGAN VARIASI
KONFIGURASI TULANGAN LONGITUDINAL BAMBU PADA
KOLOM BETON BERTULANG****SKRIPSI****TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**NURMADINAH J.****NIM. 155060101111038**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 26 Desember 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Christin Remayanti N., ST., MT
NIP. 19840325 201504 2 001

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

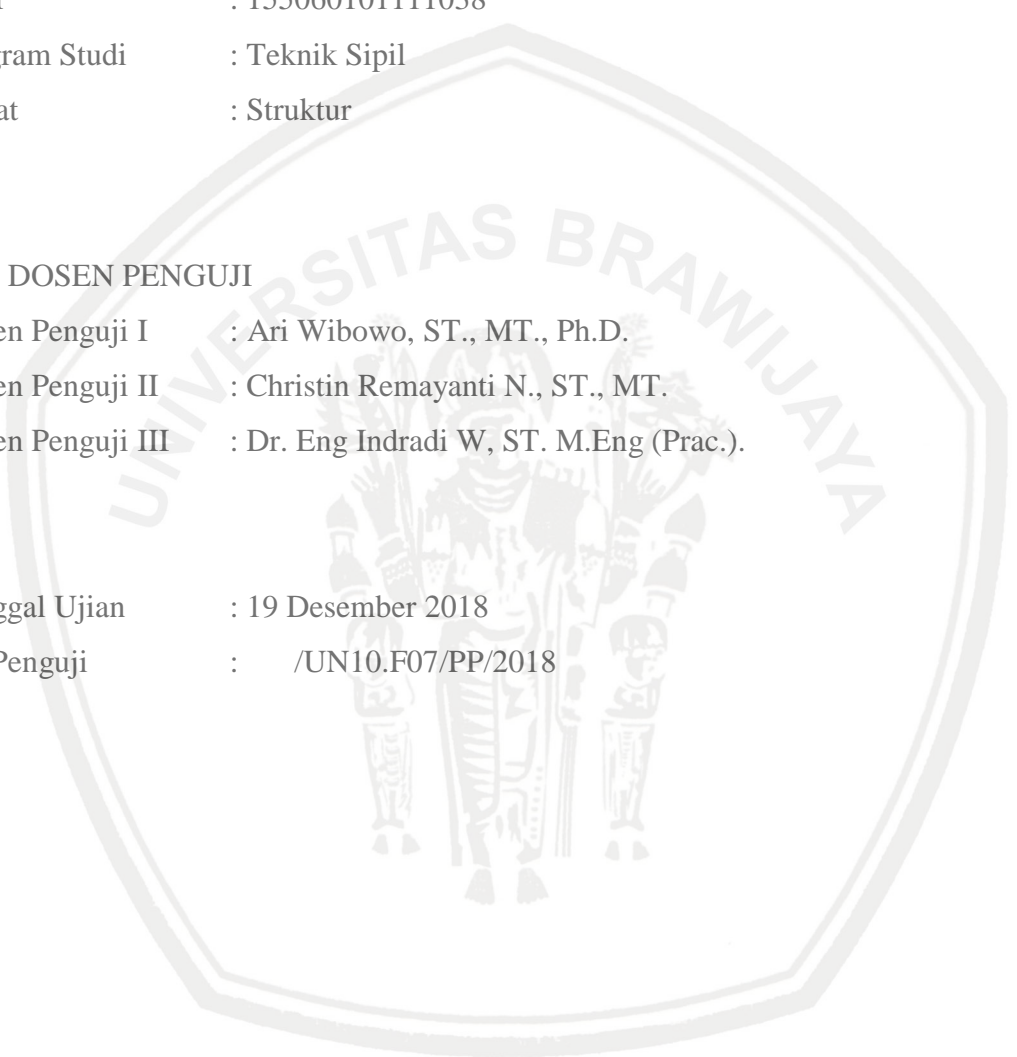
PENGARUH PERKUATAN MORTAR JAKET DENGAN VARIASI KONFIGURASI
TULANGAN LONGITUDINAL BAMBU PADA KOLOM BETON BERTULANG

Nama Mahasiswa : Nurmadinah J.
NIM : 155060101111038
Program Studi : Teknik Sipil
Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D.
Dosen Penguji II : Christin Remayanti N., ST., MT.
Dosen Penguji III : Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.).

Tanggal Ujian : 19 Desember 2018
SK Penguji : /UN10.F07/PP/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

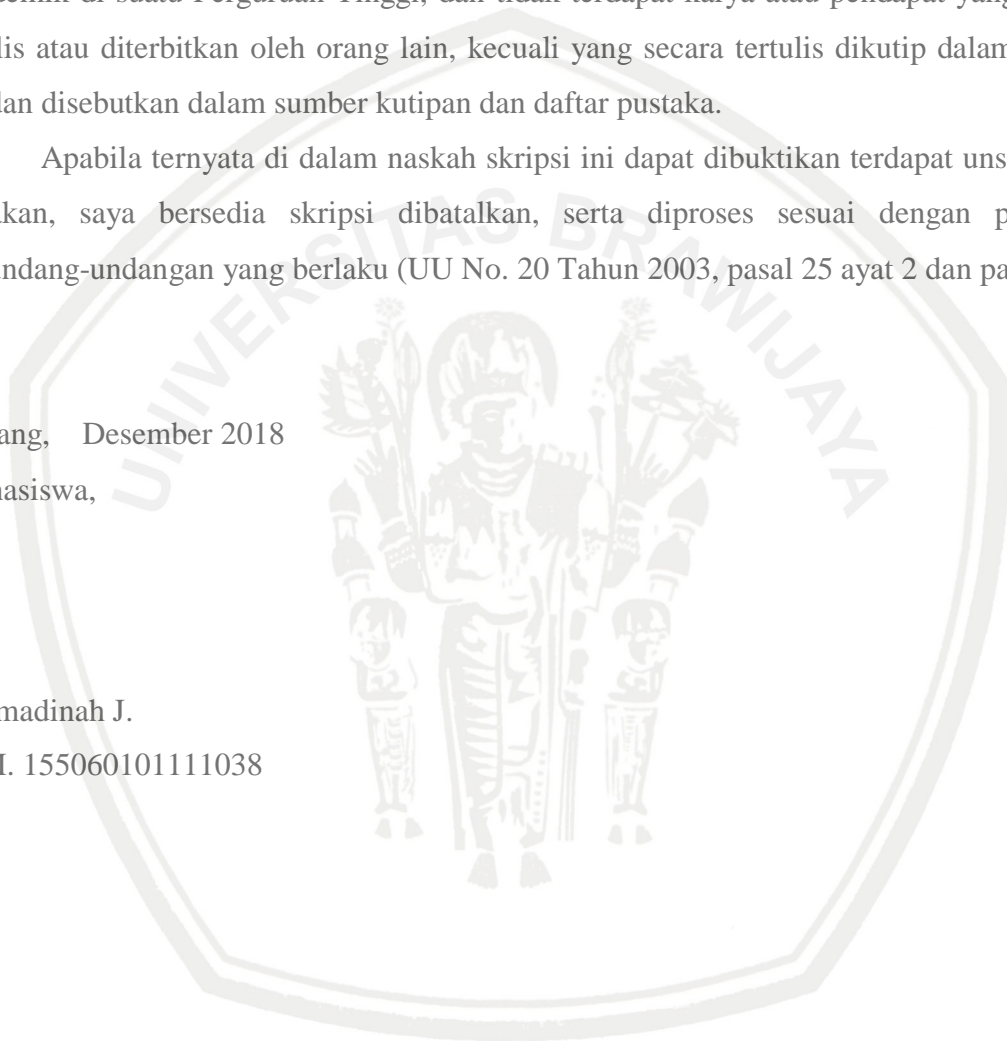
Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, Desember 2018

Mahasiswa,

Nurmadinah J.

NIM. 155060101111038



RIWAYAT HIDUP

Nurmadinah J. lahir di Mamuju, 7 Mei 1997. Anak dari Bapak Jasman Z. dan Ibu Marna S. Lulus SD di SDN Inpres Rimuku Kelas Unggulan di Mamuju, Sulawesi Barat tahun 2009. Setelah itu lulus SMP di SMPN 2 Mamuju tahun 2012. Selanjutnya lulus SMA di SMAN 2 Tinggimoncong tahun 2015. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 2018.

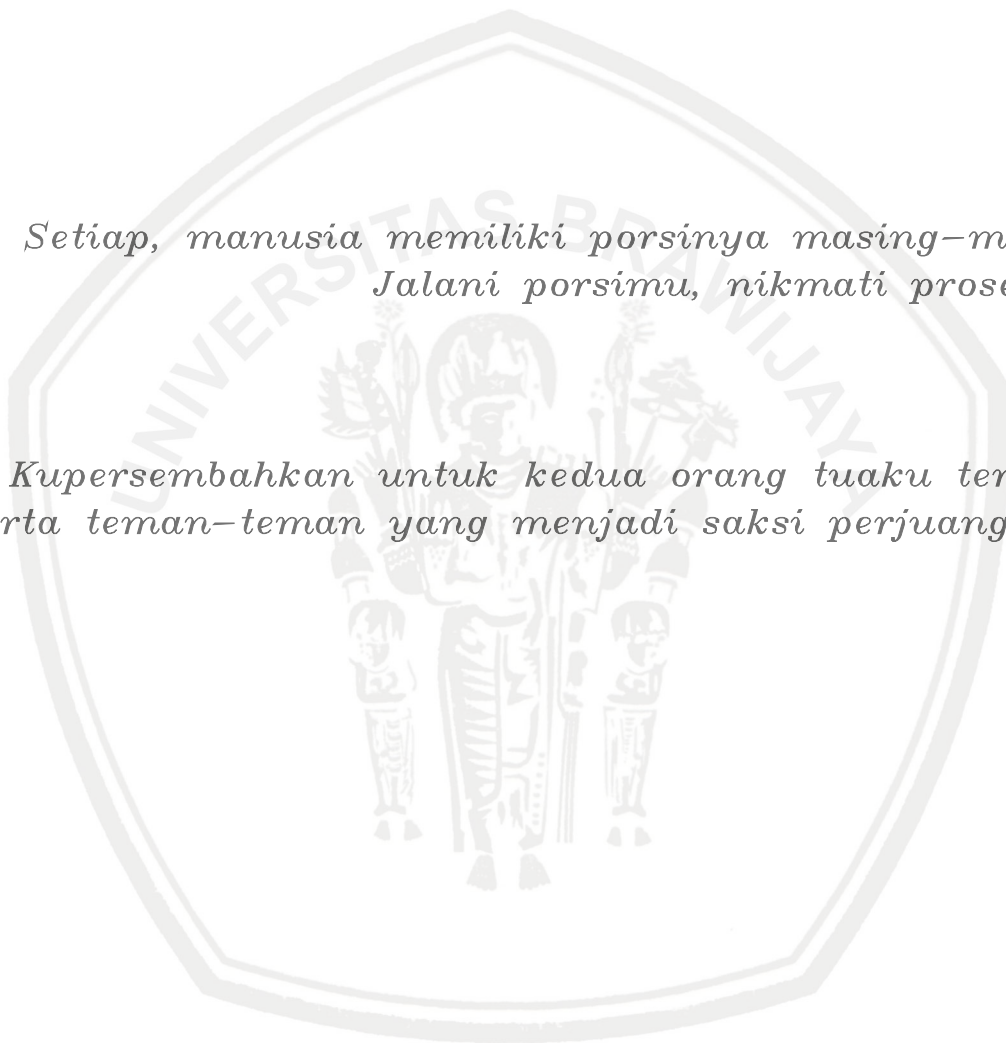
Selama menjalani studi di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang penulis pernah mengikuti kompetisi *Eartquake Resisistant Design Competition* (ERDC) di UNiversitas Kristen Petra, Surabaya tahun 2016 dan 2017, menjadi Juara 3 dalam *Civil Essay Competition* (CEC) di Universitas Brawijaya, Malang tahun 2017, dan menjadi finalis Kompetisi IDEERS 2018 di Taiwan. Selain itu penulis pernah menjadi Asisten Tugas Besar Hidrologi dan Analisis Struktur II.

Malang, Desember 2018

Penulis

*Setiap, manusia memiliki porsinya masing-masing
Jalani porsimu, nikmati prosesmu.*

*Kupersembahkan untuk kedua orang tuaku tercinta
Serta teman-teman yang menjadi saksi perjuanganku*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“PENGARUH PERKUATAN MORTAR JAKET DENGAN VARIASI KONFIGURASI TULANGAN LONGITUDINAL BAMBU PADA KOLOM BETON BERTULANG”** dapat diselesaikan dengan lancar dan tepat waktu. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar **Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.**

Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST., MT.,** selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Ibu **Christin Remayanti N., ST., MT.,** selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak **Dr. Eng Indradi W., ST, M.Eng (Prac)** selaku Dosen Pembimbing II.
4. Bapak **Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D** yang juga membantu dan memberikan saran kepada saya dalam menyusun skripsi ini.
5. **Dr. Ir. Wisnumurti., MT.,** selaku KKJF Struktur
6. Bapak **Ir. Pudyono, MT** dan Ibu **Lasmini Ambarwati., ST., M.Eng,** selaku Dosen Penasehat Akademik.
7. **Keluarga saya** yang telah mendoakan dan memberikan semangat kepada saya dalam menyelesaikan skripsi.
8. **Tim SKRIPSI RETROFIT** (Kelompok Penelitian Kolom Retrofit) yang terdiri dari saya, Zulaika Nur Jannah, Dodi Rajendra, Muh. Ainur Rofiq, Benedictus Rendy D., dan Griffin Septian H. yang telah menjadi teman seperjuangan dalam menempuh skripsi ini.
9. Teman-teman **RENUNGAN MALAM**, yang terdiri atas Pengurus inti Lembaga Angkatan 2015, yang menjadi teman seperjuangan dalam merintis karir di Himpunan Mahasiswa Sipil.
10. **Departemen Akademis**, yang menjadi wadah saya untuk belajar mengenai organisasi sejak Tahun pertama saya kuliah disini.

11. **Tim Alphabet** (Tim Kompetisi Bangunan) yang terdiri dari saya, Zulaika Nur Jannah, Ajit Rachmatsyah, Muh. Ainur Rofiq, Ardian Subhan selaku teman seperjuangan saya dalam mengikuti beberapa kompetisi konsentrasi bangunan.
12. **Tim BW-61**, yang terdiri dari saya, Enggie Ayu Herma, dan Ilham Novriadi yang juga telah mengajarkan saya arti berjuang dalam mengikuti berbagai kompetisi.
13. **Tim Skripsi Abutment dan Dora-Enggie** yang telah menjadi rekan seperjuangan untuk berambisi kuliah 3,5 tahun di sipil.
14. Kelompok **PKL MANTAP MENTONG** yang terdiri atas Erika Ainun, Ilham Novriadi, Nuril Charisma, Muh. Ainur Rofiq, dan Muh, Nurul Ishaq yang juga turut menjadi teman seperjuangan dalam mengenal lebih jauh Teknik Sipil di lapangan.
15. **Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya**, khususnya teman-teman Teknik Sipil 2015, teman-teman seperjuangan saya sejak Mahasiswa baru, yang memberikan dukungan serta semangat selama penelitian ini berlangsung.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Desember 2018

Nurmadinah J.

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
RINGKASAN.....	xix
SUMMARY	xxi
DAFTAR SIMBOL.....	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Tujuan	4
1.6 Manfaat.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton Bertulang	5
2.1.1 Sifat Mekanis Beton Bertulang	5
2.1.2 Tegangan dan Regangan Pada Beton Bertulang	7
2.1.3 Perilaku Tegangan – Regangan Beton Terkekang	7
2.2 Mortar.	8
2.2.1 Sifat-sifat Mortar	8
2.3 Tulangan	9
2.3.1 Tulangan Longitudinal	9
2.3.2 Tulangan Transversal	10

2.4 Kolom	11
2.4.1 Fungsi Kolom.....	12
2.4.2 Jenis-jenis Kolom.....	12
2.4.3 Kolom Pendek dengan Beban Aksial.....	12
2.4.4 Kolom Lemah.....	13
2.4.5 Modulus Elastisitas	14
2.4.6 Kekakuan.....	15
2.4.7 Daktilitas	17
2.5 Retrofit	18
2.6 Bambu.	20
2.6.1 Bambu Petung	20
2.6.2 Bambu Apus	21
2.6.3 Kuat Tarik Bambu.....	21
2.6.4 Kuat Tekan Bambu.....	23
2.6.5 Perlakuan Bambu sebagai Tulangan	23
2.7 Penelitian Terdahulu	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2 Bahan Penelitian.....	27
3.2.1 <i>Pozzolan Portland Cement</i>	27
3.2.2 Tulangan Baja	27
3.2.3 Tulangan Bambu	27
3.2.4 Agregat.....	28
3.2.5 Air	28
3.2.6 Bahan Perekat Beton	28
3.3 Peralatan Penelitian	28

3.3.1 Saringan	28
3.3.2 Timbangan	28
3.3.3 Mesin Pengaduk Beton	28
3.3.4 Cetakan Benda Uji	29
3.3.5 Alat Uji Tekan	29
3.3.6 Alat Uji Tarik	29
3.3.7 Dial Gauge Digital	29
3.3.8 Alat Bantu Lainnya	29
3.4 Tahapan Penelitian	30
3.5 Rancangan Penelitian	32
3.6 Variabel Penelitian	38
3.7 Prosedur Penelitian	38
3.7.1 Pengujian Bahan Dasar	38
3.7.2 Pembuatan Benda Uji	39
3.7.3 Perawatan Benda Uji	40
3.7.4 Pengujian Kuat Tekan	40
3.7.5 Pengujian Kuat Tarik	41
3.8 Metode Analisis	42
3.8.1 Pengumpulan Data	42
3.8.2 Pengolahan Data	43
3.9 Hipotesis Penelitian	50
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	51
4.1 Analisa Karakteristik Material Penyusun Benda Uji	51
4.1.1 Agregat Kasar	51
4.1.2 Agregat Halus	51
4.1.3 Air.	51
4.1.4 Semen	51

4.1.5 Hasil Uji Tarik Tulangan.....	52
4.2 Campuran Beton.....	53
4.3 Campuran Mortar	53
4.4 Uji Slump Beton.....	53
4.5 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder	54
4.6 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Mortar	57
4.7 Proses Perawatan (<i>curing</i>).....	58
4.8 Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom	59
4.9 Pembahasan.....	66
4.9.1 Hubungan Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Kontrol dengan Kolom Retrofit.....	66
4.9.1.1 Kolom Kontrol	68
4.9.1.2 Kolom Kontrol - Kolom Retrofit A5	70
4.9.1.3 Kolom Kontrol - Kolom Retrofit A6	76
4.9.1.4 Kolom Kontrol - Kolom Retrofit B5.....	80
4.9.1.5 Kolom Kontrol - Kolom Retrofit B6.....	85
4.9.2 Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Kontrol dengan Kolom Retrofit.....	90
4.9.2.1 Kolom Kontrol	92
4.9.2.2 Kolom Kontrol - Kolom Retrofit A5	93
4.9.2.3 Kolom Kontrol - Kolom Retrofit A6	98
4.9.2.4 Kolom Kontrol - Kolom Retrofit B5.....	102
4.9.2.5 Kolom Kontrol - Kolom Retrofit B6.....	107
4.9.3 Daktilitas Kolom Kontrol dengan Kolom Retrofit.....	112
4.10 Efektifitas Kolom Retrofit.....	117
4.10.1 Efektifitas Kolom Retrofit A5 dengan Kolom Retrofit B5	117
4.10.2 Efektifitas Kolom Retrofit A6 dengan Kolom Retrofit B6	120
BAB 5 PENUTUP.....	123
5.1 Kesimpulan.....	123

5.2 Saran	124
DAFTAR PUSTAKA	127
LAMPIRAN	129



- Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal.....	22
Tabel 2.2	Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia.....	22
Tabel 2.3	Kuat tekan bambu petung	23
Tabel 2.4	Penelitian Terdahulu	24
Tabel 3.1	Penelitian kolom retrofit dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda.....	32
Tabel 3.2	Jumlah benda uji	33
Tabel 3.3	Variasi Pengujian Mortar	39
Tabel 3.4	Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit.	42
Tabel 3.5	Form pengumpulan data dari pengujian kuat beban aksial kolom asli dan kolom retrofit	43
Tabel 3.6	Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan Ø8 mm	43
Tabel 3.7	Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	44
Tabel 3.8	Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit	44
Tabel 3.9	Tabel pengolahan data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	45
Tabel 3.10	Tabel pengolahan data tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit...	45
Tabel 3.11	Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli dan kolom retrofit	45
Tabel 4.1	Uji Tulangan Baja (Tulangan Transversal) Ø6 mm	52
Tabel 4.2	Uji Tulangan Baja (Tulangan Longitudinal) D10 mm.....	52

Tabel 4.3	Uji Tulangan Bambu Petung (Tulangan Longitudinal) 10 x 10 mm.....	52
Tabel 4.4	Uji Tulangan Bambu Petung (Tulangan Longitudinal) 10x5 mm.....	53
Tabel 4.5	Uji Tulangan Bambu Apus (Tulangan Transversal) 10x5 mm	53
Tabel 4.6	Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Asli	54
Tabel 4.7	Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Kontrol	54
Tabel 4.8	Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom asli) ..	55
Tabel 4.9	Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom kontrol).	55
Tabel 4.10	Hasil uji kuat tekan benda uji mortar (sampel benda uji kolom retrofit).....	57
Tabel 4.11	Hasil kuat beban aksial kolom asli	60
Tabel 4.12	Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom asli	60
Tabel 4.13	Hasil kuat beban aksial kolom kontrol	60
Tabel 4.14	Hasil kuat beban aksial kolom retrofit.....	61
Tabel 4.15	Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom retrofit	62
Tabel 4.16	Tabel data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit.	66
Tabel 4.17	Tabel data rata –rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit.....	67
Tabel 4.18	Tabel gaya tekan dan defleksi kolom kontrol	68
Tabel 4.19	Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit A5	70
Tabel 4.20	Tabel gaya tekan dan defleksi kolom A6	76
Tabel 4.21	Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit B5.....	80
Tabel 4.22	Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit B6.....	85
Tabel 4.23	Tabel data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit.	90

Tabel 4.24	Tabel data rata –rata tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit	91
Tabel 4.25	Tabel tegangan dan regangan kolom kontrol	92
Tabel 4.26	Tabel tegangan - regangan kolom retrofit A5	93
Tabel 4.27	Tabel tegangan dan regangan retrofit A6.....	98
Tabel 4.28	Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit B5.....	102
Tabel 4.29	Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit B6.....	101
Tabel 4.30	Tabel daktilitas pada kolom kontrol dan kolom retrofit	104
Tabel 4.31	Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A5 dengan kolom retrofit B5.	117
Tabel 4.32	Tabel perbandingan efektifitas kolom A5 dengan kolom retrofit B5	118
Tabel 4.33	Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A6 dengan kolom retrofit B6.	120
Tabel 4.34	Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit A6 dengan kolom retrofit B6.	121

- Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan beton tidak Terkekang	8
Gambar 2.2	Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal	11
Gambar 2.3	Grafik Hubungan Tegangan Regangan (tangen dan secan modulus)	15
Gambar 2.4	Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial	16
Gambar 2.5	Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh	17
Gambar 2.6	Grafik Nilai Daktilitas.....	18
Gambar 2.7	Perbaikan Kolom dengan metode jacketing.....	19
Gambar 2.8	Penambahan Profil Baja pada Kolom	20
Gambar 2.9	Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja	23
Gambar 3.2	Diagram alir tahapan pengujian kolom <i>initial condition</i>	30
Gambar 3.3	Benda uji kolom asli	34
Gambar 3.4	Benda uji kolom retrofit kode A5	35
Gambar 3.5	Benda uji kolom retrofit kode A6	36
Gambar 3.6	Benda uji kolom retrofit kode B5	36
Gambar 3.7	Benda uji kolom retrofit kode B6	37
Gambar 3.8	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli dengan kolom retrofit	46
Gambar 3.9	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dengan retrofit	46
Gambar 3.10	Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit.....	47
Gambar 3.11	Grafik tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit	47

Gambar 3.12	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit	48
Gambar 3.13	Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dan kolom retrofit	48
Gambar 3.14	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit	49
Gambar 3.15	Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit	49
Gambar 4.1	Grafik hasil rata-rata uji tekan beton uji silinder kolom asli	56
Gambar 4.2	Grafik hasil rata-rata uji tekan beton uji silinder kolom kontrol	56
Gambar 4.3	Grafik hasil uji kuat tekan mortar	58
Gambar 4.4	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom kontrol dengan kolom retrofit A5	63
Gambar 4.5	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom kontrol dengan kolom retrofit A6	64
Gambar 4.6	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom kontrol dengan kolom retrofit B5	64
Gambar 4.7	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom kontrol dengan kolom retrofit B6	65
Gambar 4.8	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(1)	73
Gambar 4.9	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(2)	74
Gambar 4.10	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(3)	74
Gambar 4.11	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A5	75

Gambar 4.12 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A6(1)	78
Gambar 4.13 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A6(2)	78
Gambar 4.14 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A6.....	79
Gambar 4.15 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(1).....	82
Gambar 4.16 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(2).....	83
Gambar 4.17 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(3).....	83
Gambar 4.18 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B5	84
Gambar 4.19 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(1).....	87
Gambar 4.20 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(2).....	88
Gambar 4.21 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(3).....	89
Gambar 4.22 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B6	90
Gambar 4.23 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(1).	96
Gambar 4.24 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(2).	96
Gambar 4.25 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(3).	97

Gambar 4.26	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5	97
Gambar 4.27	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A6(1).	100
Gambar 4.28	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A6(2).	101
Gambar 4.29	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A6.	102
Gambar 4.30	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(1)	105
Gambar 4.31	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(2).	105
Gambar 4.32	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(3).	106
Gambar 4.33	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5.	106
Gambar 4.34	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(1).	109
Gambar 4.35	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(2).	110
Gambar 4.36	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(3).	111
Gambar 4.37	Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6.	111
Gambar 4.38	Grafik perbandingan daktilitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5	113
Gambar 4.39	Grafik perbandingan daktilitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A6	114
Gambar 4.40	Grafik perbandingan daktilitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5	116
Gambar 4.41	Grafik perbandingan daktilitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6	117

Gambar 4.42 Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit A5-B5.	119
Gambar 4.43 Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom kolom retrofit A5-B5	120
Gambar 4.44 Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit A6 – B6.....	122
Gambar 4.45 Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit A6 – B6	122
Gambar 4.46 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit B.1-B.2	112



- Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran I.	PEMERIKSAAN DAN ANALISIS BAHAN CAMPURAN	
BETON	129
Lampiran II.	PERHITUNGAN CAMPURAN DAN PENENTUAN KEBUTUHAN	
BAHAN	141
Lampiran III.	DATA HASIL UJI TARIK TULANGAN	155
Lampiran IV	DATA HASIL UJI TEKAN KOLOM KONTROL DAN RETROFIT (SEBELUM DIOLAH).....	169
Lampiran V	DOKUMENTASI PENELITIAN	183
Lampiran VI	HASIL PENGUJIAN KOLOM RETROFIT	199

- Halaman ini sengaja dikosongkan



RINGKASAN

Nurmadinah J, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2018, *Pengaruh Konfigurasi Tulangan Longitudinal Bambu dari Perkuatan Mortar Jacket pada Kolom Beton Bertulang*, Dosen Pembimbing : Christin Remayanti N, ST. MT dan Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.).

Kolom merupakan salah satu struktur utama dari suatu bangunan. Kolom menjadi salah satu struktur dalam portal/frame yang menopang balok, seluruh beban lantai, serta beban lain yang di atasnya. Oleh karena itu, dalam suatu bangunan pembuatan kolom menjadi salah satu hal yang perlu diperhatikan karena jika kolom dari suatu bangunan lemah maka semua sistem struktur yang ada di atasnya pun berisiko untuk mengalami kegagalan. Seiring perkembangan konstruksi kebutuhan akan pembangunan gedung baru pun semakin meningkat, tidak hanya pembangunan gedung baru namun peralihan fungsi bangunan sedang banyak dilakukan. Untuk menghindari terjadinya kolom lemah pada peralihan fungsi bangunan, diciptakan sebuah inovasi dengan melakukan perkuatan kolom dengan metode *mortar jacketing*.

Pada penelitian ini kolom asli memiliki ukuran 12 x 12 x 30 cm dengan tulangan utama dan sengkang dari tulangan baja, sedangkan kolom retrofit memiliki ukuran 18 x 18 x 25 cm dengan tulangan utama dari bambu petung dan sengkang dari bambu apus. Untuk kode kolom digunakan A5 – B5 dan A6 – B6. Yaitu, kolom retrofit kode A5 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dibandingkan dengan kolom retrofit kode B5 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 5 mm dan dengan jarak tulangan transversal yang sama yaitu 7 cm. Sedangkan kolom retrofit dengan kode A6 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm, dibandingkan dengan kolom retrofit kode B6 adalah kolom retrofit yang menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 5 mm dan dengan jarak tulangan transversal yang sama yaitu 11 cm. Hasil akhir dari penelitian ini adalah efektifitas pengekanan kolom retrofit. Pengujian kolom dilakukan menggunakan mesin uji tekan untuk memperoleh nilai gaya tekan dan *dial gauge* untuk memperoleh nilai defleksi.

Hasil penelitian antara variasi A5 dan B5 diperoleh bahwa variasi B5 memiliki efektifitas peningkatan gaya tekan maksimum yang lebih rendah sebesar 26,27% dibandingkan variasi A5. Selain itu nilai kekakuan dan modulus elastisitas dari kolom retrofit B5 juga memiliki nilai yang lebih kecil masing-masing sebesar 61,17% dan 49,79% dibandingkan kolom retrofit A5. Namun untuk nilai peningkatan daktilitas variasi B5 memiliki nilai peningkatan daktilitas yang sedikit lebih besar sebesar 0,33% dibandingkan kolom retrofit A5. Maka disimpulkan bahwa kolom retrofit B5 lebih efektif dibandingkan kolom retrofit A5. Sedangkan untuk penelitian antara variasi A6 dan B6 diperoleh bahwa variasi B6 memiliki peningkatan gaya tekan maksimum yang lebih rendah sebesar 19,02% dibandingkan variasi A6. Namun variasi B6 memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar masing-masing sebesar 1,82% dan 45,43% dibandingkan kolom A6, hal ini dapat saja terjadi karena proses pencampuran material saat pengecoran tidak merata, sehingga kuat tekan dan kekakuan serta modulus elastisitas tidak berbanding lurus. Sedangkan variasi B6 memiliki efektifitas peningkatan daktilitas lebih besar sebesar 62,33% dibandingkan variasi A6. Maka disimpulkan bahwa kolom retrofit B6 lebih efektif dibandingkan kolom retrofit A6. Oleh karena itu, pada penelitian ini konfigurasi tulangan memberikan pengaruh pada efektifitas perbaikan kolom.

Kata Kunci : Jacket beton, efektivitas, gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, daktilitas.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



SUMMARY

Nurmadinah J., *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Desember 2018, The Effect of Mortar Jacket Retrofit with Various Longitudinal Bamboo Reinforcement Configuration on RC Columns, Academic Supervisor : Christin Remayanti N, ST. MT dan Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.).*

Column is one of the main structures of a building. It becomes one of the structures in the portal/frame that supports beam, the entire floor load, and other loads above it. Therefore, Column construction is one thing that needs to be considered in a building because if the column of a building is weak then all the structural systems above it have higher risk of structural failure. Along with the construction development, the need of a new building construction is increasing, not only the construction of new building, but also the transition of building function has been done a lot. To avoid weak beam in the transition of building function, an innovation is created by reinforcing column using mortar jacketing method.

In this study the original column has 12 x 12 x 30 cm size with steel main and stirrup reinforcement. Whereas the retrofit column has 18 x 18 x 25 cm size with main reinforcement of “petung” bamboo and stirrup reinforcement from “apus” bamboo. A5 – B5 and A6 – B6 are used for column codes. Retrofit column code A5 is the retrofit column that uses 4 pieces of bamboo longitudinal reinforcement with 10 x 10 millimeters size. this column is compared to the the retrofit column code B5 that uses 8 longitudinal bamboo reinforcement with 10 x 5 mm size. These two columns has the same transverse reinforcement length which is 7 cm. The retrofit column code A6 uses 4 pieces of bamboo longitudinal reinforcement with 10 x 10 mm size, compared to the retrofit column code B6 that uses 8 longitudinal bamboo reinforcement with 10 x 5 mm size and same transverse reinforcement that is 11 cm. The final result of this study is the effectiveness of retrofit column restraints. Column testing is done using compression test machine to obtain compressive force value and dial gauge to get the deflection value.

The results of the study between variations of A5 and B5 showed that B5 variations has a lower effectiveness of increasing compressive force by 26,27% compared to A5 variations. Other than that, stiffness value and elastic modulus of the retrofit column B5 also has smaller values of 61.17% and 49.79% compared to the retrofit column A5. However, the ductility increase value in B5 is slightly greater than A5 by 0,33%. It is concluded that the retrofit column B5 is more effective than retrofit column A5. While for the study between variations of A6 and B6, can be obtained that B6 variations has a lower maximum compressive force of 19,02% compared to A6 variation. However, B6 variation has a stiffness value and a greater elastic modulus of 1.82% and 45.43%, compared to column A6. this can happen because the mixing process of the material during casting is uneven, so that compressive strength, stiffness and elastic modulus is not directly proportional. Whereas B6 variations has a greater effectiveness of ductility increase of 62.33% compared to variation of A6. It is concluded that the retrofit column B6 is more effective than the retrofit column A6. Therefore, in this study reinforcement configuration has an effect on the column repairs effectiveness.

Keywords: concrete jacket, effectiveness, compressive force, stiffness, elastic modulus, ductility.

- Halaman ini sengaja dikosongkan -



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Kuat Beban Aksial	Kilonewton atau kN	P
Luas Penampang Bruto	Milimeter kuadrat atau mm ²	A _g
Kuat Tekan Beton	Megapascal atau MPa	f' _c
Tegangan Leleh	Megapascal atau MPa	f _y
Luas Penampang Bambu	Milimeter kuadrat atau mm ²	A _{bambu}
Modulus Elastisitas	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm ²	E
Kekakuan	Kilonewton per millimeter atau kN/mm	k
Tegangan	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm ²	σ
Luas Penampang	Milimeter kuadrat atau mm ²	A
Perubahan Panjang	Milimeter atau mm	ΔL
Regangan	-	ε
Gaya Tekan	Kilonewton atau kN	P
Defleksi	Milimeter atau mm	Δ
Daktilitas	-	μΔ
Deformasi <i>Ultimate</i>	Milimeter atau mm	Δ _u
Deformasi Leleh	Milimeter atau mm	Δ _y

- Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kolom merupakan salah satu struktur utama dari suatu bangunan. Kolom menjadi salah satu struktur dalam portal/frame yang menopang balok, seluruh beban lantai, serta beban lain yang di atasnya. Oleh karena itu, dalam suatu bangunan pembuatan kolom menjadi salah satu hal yang sangat perlu diperhatikan karena jika kolom dari suatu bangunan lemah maka semua sistem struktur yang ada di atasnya pun berisiko untuk mengalami kegagalan.

Saat ini Indonesia telah mengalami perkembangan konstruksi yang semakin pesat, kebutuhan akan konstruksi bangunan pun semakin meningkat seiring dengan berjalannya waktu. Tidak hanya membangun sebuah gedung baru, namun pengembangan bangunan hingga peralihan fungsi bangunan sedang banyak dilakukan oleh masyarakat Indonesia. Peralihan fungsi bangunan tanpa membangun kembali struktur dari awal dapat memberikan nilai ekonomis yang lebih tinggi karena proses pengerjaannya tidak memakan waktu dan biaya yang besar, sehingga hal ini seringkali menjadi pilihan.

Dalam proses perubahan bangunan ini, tentunya diperlukan beberapa perkuatan struktur khususnya struktur kolom karena kolom yang akan berfungsi untuk menopang beban struktur yang ada di atasnya. Jika tidak dilakukan perkuatan, maka akan terjadi kolom lemah yang dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan struktur. Oleh karena itu diperlukan adanya perkuatan atau perbaikan struktur bangunan dengan beberapa cara yang telah banyak berkembang saat ini diantaranya *concrete jacketing*, *steel bonding plat*, *carbon fibre reinforced polymer*, dan lain sebagainya sehingga kegagalan pada suatu struktur bangunan dapat teratasi dengan baik.

Pada penelitian ini, kolom lemah akan diperkuat dengan menggunakan metode jaket mortar (*mortar jacketing*) yaitu metode perkuatan atau perbaikan beton dengan cara menyelimuti kolom asli dengan menggunakan lapisan tambahan berupa mortar serta tulangan sehingga dimensi kolom yang sebelumnya akan bertambah. Metode ini banyak digunakan karena sangat mudah untuk dilaksanakan dalam segi keefisien-an serta dari segi biaya dan waktu, sehingga kolom yang lemah tidak perlu dibangun kembali.

Selain itu dalam kegagalan struktur kolom, tulangan longitudinal juga menjadi salah satu elemen yang mempunyai peranan yang sangat penting. Pada umumnya digunakan material baja sebagai tulangan longitudinal karena baja memiliki sifat kuat tarik yang tinggi. Namun, beberapa kekurangan baja ialah memiliki harga yang relatif mahal dan memiliki nilai berat yang lumayan besar. Oleh karena itu, melalui penelitian ini akan digunakan perkuatan kolom dengan *mortar jacketing* serta penambahan tulangan menggunakan bambu petung sebagai tulangan longitudinal dan bambu apus sebagai sengkang. Hal ini dikarenakan harga bambu petung dan bambu apus yang relatif lebih murah, ramah lingkungan, serta mempunyai kuat tarik sejajar serat sebesar 100-400 Mpa lebih besar daripada kuat tarik baja mutu sedang. Sehingga diharapkan penelitian ini akan menciptakan inovasi terbaru khususnya dalam hal perkuatan kolom serta penerapan *green construction* melalui metode *mortar jacketing* dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu.

1.2 Identifikasi Masalah

Saat ini, peralihan atau perubahan fungsi bangunan tanpa harus membangun struktur dari awal seringkali menjadi pilihan dalam proses perancangan bangunan. Namun, kondisi kolom yang tidak sesuai dengan bangunan yang akan dirancang menjadi salah satu permasalahan yang perlu diperhatikan. Karena struktur kolom yang tidak sesuai akan menimbulkan kasus kolom lemah yang akan berdampak pada kegagalan struktur. Oleh karena itu melalui penelitian ini dilakukan identifikasi masalah guna mengetahui gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas yang lebih efektif dari kolom lemah yang kemudian diperkuat dengan metode *jacketing* menggunakan bahan *mortar*, metode ini seringkali dikenal dengan retrofit. Parameter yang ditentukan untuk mengetahui hal tersebut pada penelitian ini adalah perbedaan antar varisai jarak sengkang dan konfigurasi tulangan longitudinal bambu pada kolom lemah yang telah diretrofit.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan diatas maka dalam penelitian ini dapat disimpulkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah hasil gaya tekan maksimum pada kolom lemah yang telah diretrofit dengan variasi konfigurasi tulangan bambu yang berbeda?
2. Bagaimanakah hasil kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas pada kolom lemah yang telah diretrofit dengan variasi konfigurasi tulangan bambu berbeda?

3. Berapakah variasi konfigurasi tulangan bambu dan jarak sengkang bambu yang paling efektif pada kolom lemah yang telah diretrofit?

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini nantinya tidak terlalu meluas, maka perlu adanya batasan masalah pada penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah 17,5 Mpa.
2. Mutu mortar yang digunakan ialah 17,267 MPa.
3. Kolom asli merupakan kolom lemah yang tidak dilakukan pengujian terhadap kuat tekannya.
4. Kolom asli mempunyai dimensi 12 cm x 12 cm x 30 cm.
5. Kolom retrofit mempunyai dimensi 18 cm x 18 cm x 25 cm.
6. Material yang digunakan pada tulangan longitudinal dan transversal pada kolom asli adalah tulangan baja.
7. Material yang digunakan pada tulangan longitudinal dan transversal pada kolom retrofit adalah tulangan bambu.
8. Jenis bambu yang digunakan sebagai tulangan longitudinal pada kolom retrofit adalah jenis bambu petung.
9. Jenis bambu yang digunakan sebagai tulangan transversal pada kolom retrofit adalah jenis bambu apus.
10. Kolom asli dipasang 4 buah tulangan longitudinal D10 mm dan tulangan transversal $\phi 6$ mm dengan pemasangan jarak antar tulangan transversal 15 cm.
11. Terdapat 2 jenis variasi dimensi tulangan longitudinal bambu pada kolom retrofit, yaitu dimensi tulangan longitudinal bambu 1 cm x 1 cm dan 1 cm x 0,5 cm.
12. Kolom retrofit yang memiliki dimensi tulangan longitudinal bambu 1 cm x 1 cm dipasang sebanyak 4 buah tulangan longitudinal bambu.
13. Kolom retrofit yang memiliki dimensi tulangan longitudinal bambu 1 cm x 0,5 cm dipasang sebanyak 8 buah tulangan longitudinal bambu.
14. Tulangan transversal bambu pada kolom retrofit memiliki dimensi 1 cm x 1 cm.
15. Terdapat 2 jenis variasi pemasangan jarak tulangan transversal bambu pada kolom retrofit, yaitu jarak antar tulangan transversal bambu 7 cm dan 11 cm.
16. Variasi yang akan dibandingkan dalam penelitian ini adalah konfigurasi tulangan longitudinal bambu.

17. Karakteristik pengujian kekuatan kolom retrofit yang akan diamati dalam penelitian ini adalah pengujian kuat tekan kolom.

1.5 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis hasil gaya tekan maksimum kolom lemah yang telah diretrofit dengan variasi konfigurasi tulangan bambu yang berbeda.
2. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis hasil kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas kolom lemah yang telah diretrofit dengan variasi konfigurasi tulangan bambu yang berbeda.
3. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis variasi konfigurasi tulangan bambu dan jarak sengkang bambu yang paling efektif pada kolom yang telah diretrofit.

1.6 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis:
 - Mengetahui gaya tekan maksimum pada kolom lemah yang telah diretrofit dengan variasi konfigurasi tulangan bambu yang berbeda.
 - Mengetahui kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas kolom lemah yang telah diretrofit dengan variasi konfigurasi tulangan bambu yang berbeda.
 - Mengetahui variasi konfigurasi tulangan bambu yang paling efektif pada kolom lemah yang telah diretrofit.
2. Bagi pembaca:
 - Dapat menjadi referensi untuk menentukan variasi konfigurasi tulangan bambu dan jarak sengkang bambu yang paling efektif pada kolom lemah yang telah diretrofit dengan menggunakan metode *mortar jacketing*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Bertulang

Beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidraulik yang lainnya, agregat halus (pasir), agregat kasar, dan air dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. (SNI 03-2847-2002, Pasal 3.12).

Sifat utama dari beton ialah beton sangat kuat terhadap beban tekan, namun juga bersifat mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Biasanya dalam perhitungan struktur, kuat tarik beton tidak diperhitungkan atau diabaikan.

Beton bertulang merupakan beton yang diberikan tulangan dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan baik menggunakan prategang ataupun tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua bahan tersebut bekerja sama dalam memikul gaya-gaya. (SNI 03-2847-2002, Pasal 3.13).

Sifat utama dari baja tulangan ialah sangat kuat terhadap beban tarik maupun beban tekan. Karena baja tulangan memiliki harga yang mahal, maka perlu dihindari penggunaan baja tulangan untuk memikul beban tekan. Dari sifat utama kedua bahan di atas, yaitu beton dan baja tulangan masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangan, maka jika kedua material beton dan baja tulangan dipadukan menjadi satu kesatuan secara komposit, akan diperoleh material baru yang disebut beton bertulang. Beton bertulang ini memiliki sifat sesuai dengan sifat bahan penyusunnya, yaitu sangat kuat terhadap beban tarik (baja tulangan) maupun beban tekan (beton).

2.1.1 Sifat Mekanis Beton Bertulang

Sifat-sifat mekanis beton keras dapat diklasifikasikan sebagai :

1. Sifat jangka pendek, seperti kuat tekan, tarik, dan geser, serta modulus elastisitas.
2. Sifat jangka panjang, seperti rangkai dan susut.

Berikut penjelasan dari masing-masing sifat mekanis beton keras :

1. Kuat Tekan

Nilai kuat tekan beton dapat diperoleh melalui tata cara pengujian standard menggunakan mesin uji dengan memberikan beban tekan bertingkat pada

benda uji silinder beton (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) ataupun kolom asli. Tata cara pengujian yang umum dipakai adalah standar ASTM (*American Society for Testing Materials*) C39-86. Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara 10 – 65 MPa. Untuk beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17 – 30 MPa.

2. Kuat Tarik

Kuat tarik beton yang tepat sulit untuk ditentukan. Selama periode bertahun-tahun, sifat tarik beton dapat diukur dengan menggunakan modulus keruntuhan (*modulus of rupture*).

3. Kuat Geser

Kekuatan geser lebih sulit didapatkan karena sulitnya untuk mengisolasi geser dari tegangan-tegangan lainnya. Hal ini merupakan salah satu sebab yang mengakibatkan banyaknya variasi kekuatan geser yang dituliskan dalam berbagai bentuk literature, mulai dari 20% dari kekuatan tekan pada pembebanan normal, hingga sebesar 85% dari kekuatan tekan, dalam hal ini terjadi kombinasi antara geser dan tekan.

4. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas ialah kemiringan awal dari bagian awal grafik yang lurus dari diagram regangan-tegangan, dimana nilainya akan bertambah besar seiring dengan bertambahnya kekuatan beton.

5. Rangkak

Rangkak (*creep*) merupakan salah satu sifat dimana beton mengalami perubahan bentuk atau deformasi permanen akibat beban tetap yang bekerja pada beton. Rangkak dapat timbul dengan intensitas yang semakin berkurang selang waktu tertentu dan akan berakhir setelah beberapa tahun kemudian.

6. Susut

Susut dapat didefinisikan sebagai perubahan volume beton yang tidak berhubungan dengan beban. Pada umumnya ada dua jenis susut, yaitu susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis ialah susut yang terjadi beberapa jam setelah beton segar dicor ke dalam bekisting. Sedangkan susut pengeringan terjadi setelah beton mencapai bentuk akhirnya serta proses hidrasi dari pasta semen telah selesai.

2.1.2 Tegangan dan Regangan Pada Beton Bertulang

Tegangan merupakan besaran pengukuran intensitas gaya (F) atau reaksi dalam yang timbul tiap per satuan luas (A). Rumus untuk mencari tegangan pada beton bertulang yakni sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

P = gaya tekan (kN)

A = luas tampang melintang (mm²)

Deformasi atau regangan yaitu perubahan ukuran dari panjang awal yang dihasilkan dari gaya tarik ataupun gaya tekan yang dibebanlan pada suatu bahan atau benda uji. Rumus untuk mencari regangan pada beton bertulang yakni sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana $\Delta L = l - l_0$

Dimana :

ΔL = perubahan panjang akibat beban P (mm)

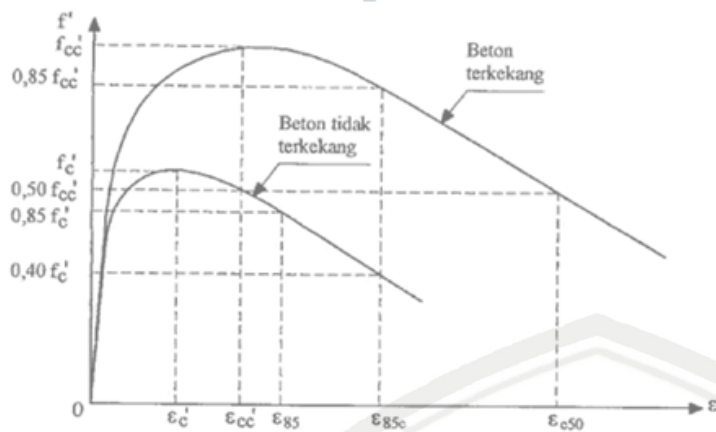
L = panjang semula (mm)

2.1.3 Perilaku Tegangan – Regangan Beton Terkekang

Perilaku tulangan lateral pada kolom akan memberikan pengaruh pada hubungan tegangan – regangan beton, dimana bentuk hubungan tersebut dipengaruhi oleh beberapa variabel, terutama kuat tekan beton, rasio tulangan lateral terhadap volume inti beton (*concrete core*), tegangan leleh tulangan lateral, dan spasi tulangan lateral. Selain itu salah satu hal yang penting ialah pengaruh dari tingkat laju pembebanan, karena karakteristik tegangan – regangan beton pada dasarnya memiliki unsur *time – dependent* [Scott dkk. (1982), Dilger dkk. (1988), Azizinamini dkk. (1994)], Saatcioglu & Baingo (1999)]

Pada tegangan awal, modulus elastisitas beton terkekang dengan beton tidak terkekang hampir sama, hal ini sesuai dengan yang diperlihatkan dalam gambar 2.1. Berarti pada tegangan awal tersebut, tulangan transversal masih belum aktif

memberikan tahanan lateral. Deformasi lateral yang disebabkan oleh beban aksial yang bekerja pada beton, mendapatkan tahanan dari ikatan antara partikel beton.



Gambar 2.1. Hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan beton tidak terkekang

Sumber : Razvi & Saatcioglu (1992)

Pada tegangan sekitar $0,4 f'_c$, perilaku kurva tegangan – regangan beton mulai non – linier. Tingkat tegangan ini ditandai dengan mulai runtuhnya selimut beton dan mempunyai perilaku tegangan – regangan yang berbeda dengan inti beton. Deformasi lateral beton menimbulkan reaksi dari kekangan berupa tahanan lateral. Hal ini dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas beton terkekang dibanding dengan beton tidak terkekang.

2.2. Mortar

Mortar (sering disebut juga mortel atau spesi) merupakan bahan bangunan yang terdiri dari agregat halus, bahan perekat serta air, dan diaduk sampai homogen. Adukan mortar dibuat kekecekkannya cukup baik sehingga mudah untuk dikerjakan. Sebagai bahan bangunan, mortar pun biasa diukur sifat-sifatnya, misalnya kuat tekan, berat jenis, kuat tarik, daya serap air, kuat rekat dengan bata merah, susutan, dan sebagainya. (Tjokrodimuljo, K 2012)

2.2.1 Sifat - sifat Mortar

Menurut Tjokrodimuljo, K (2012) mortar yang baik harus memiliki sifat-sifat mortar sebagai berikut :

1. Murah.
2. Tahan lama.
3. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkat, dipasang dan diratakan).
4. Melekat dengan baik dengan bata, batu dan sebagainya.

5. Cepat kering dan mengeras.
6. Tahan terhadap rembesan air.
7. Tidak timbul retak-retak setelah dipasang.

Pemakaian mortar pada kondisi bangunan tertentu disyaratkan untuk memenuhi mutu adukan yang tertentu pula. Sebagai contoh untuk bangunan gedung bertingkat banyak diisyaratkan menggunakan mortar yang kuat tekan minimumnya 3,0 Mpa.

2.3. Tulangan

2.3.1 Tulangan Longitudinal

Fungsi utama baja tulangan pada struktur beton bertulang yaitu untuk menahan gaya tarik. Oleh karena itu pada struktur balok, kolom, pelat, fondasi, ataupun struktur lainnya dari bahan beton bertulang, selalu diupayakan agar tulangan longitudinal (memanjang) dipasang pada serat-serat beton yang mengalami tegangan tarik. Keadaan ini terjadi terutama pada daerah yang menahan momen lentur besar (umumnya di daerah lapangan/tengah bentang, atau di atas tumpuan), sehingga sering mengakibatkan terjadinya retakan beton akibat tegangan lentur tersebut. Tulangan longitudinal ini dipasang searah sumbu batang. Hasil studi yang pernah dilakukan menunjukkan bahwa pemasangan tulangan pada kolom beton dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitasnya [Imran dkk., 1999]. Oleh karena itu, untuk tetap mempertahankan kekuatan dan daktilitas pada daerah momen maksimum kolom, beton pada daerah inti harus memperoleh kekangan yang cukup.

Namun, saat ini baja merupakan material yang cepat habis dan tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu banyak penelitian yang mencoba membuktikan bahwa bahan bambu dapat menggantikan baja sebagai tulangan.

Pada pemasangan konfigurasi tulangan longitudinal dengan variasi yang berbeda, akan menimbulkan 2 macam kondisi yang terjadi pada kolom. Pertama ialah perilaku kekangan kolom akibat dari efektifitas kekangan dan yang kedua ialah perilaku kolom akibat dari tekuk terjadi pada tulangan longitudinal. Efektifitas kekangan dari kolom erat kaitannya dengan pengaruh luas efektif yang tidak mengalami kekangan. Semakin kecil luas daerah yang tidak mengalami kekangan, maka hal ini akan meningkatkan daktilitas dari kolom. Sedangkan untuk perilaku tekuk tulangan longitudinal, dipengaruhi oleh rasio tekuk tulangan yang diperoleh dengan membagi antara luas penampang tulangan dengan panjang tulangan yang tidak mengalami kekangan, semakin besar rasio tekuk tulangan, maka semakin kuat sebuah kolom untuk menahan beban aksial yang ada.

Adapun penjelasan dari tulangan bambu dan baja ialah sebagai berikut :

- Tulangan baja

Penggunaan baja sebagai tulangan telah banyak diterapkan oleh orang-orang. Hal ini dikarenakan tulangan ini dapat diproduksi dalam jumlah yang banyak, tidak mudah terbakar, tidak menyerap air, dan masih banyak lagi kelebihan lainnya.

- Tulangan bambu

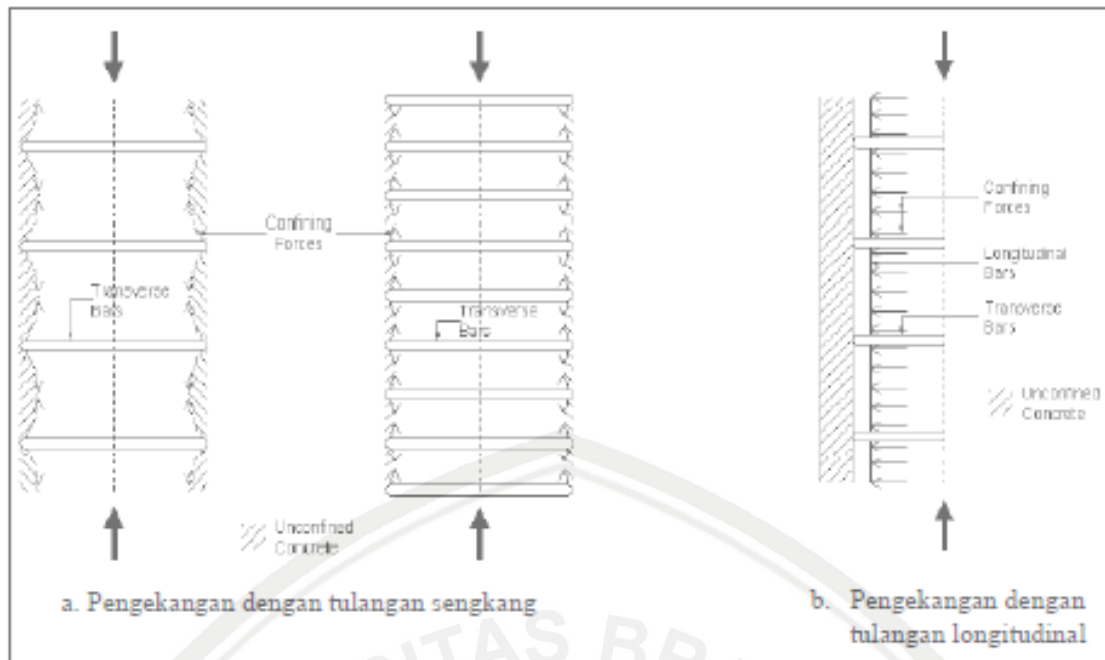
Bambu memiliki kuat tarik yang cukup tinggi, yakni kuat tarik antara 100 - 400 Mpa, hampir menyamai kekuatan tarik besi tulangan setara dengan $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{1}{4}$ dari tegangan ultimit besi (Widjaja, 2001). Kuat tarik bambu dapat mencapai 1280 kg/cm² (Morisco, 1996). Kekuatan tarik bambu sejajar serat antara 100 - 400 Mpa beberapa jenis bambu melampaui kuat tarik baja mutu sedang (Morisco, 1999).

Bambu memiliki serat yang sejajar, sehingga bambu memiliki kekuatan terhadap gaya normal cukup baik. Selain itu bambu memiliki bentuk seperti pipa sehingga momen lembamnya cukup tinggi oleh karena itu bambu cukup baik untuk memikul momen lentur dan berat bambu sekitar 1/9 dari berat besi, cukup ringan untuk sebuah material konstruksi. Adapun kelebihan dari bambu jika digunakan sebagai tulangan pada beton yakni sebagai berikut :

- Tulangan bambu memiliki nilai yang lebih ekonomis dibandingkan dengan tulangan baja.
- Bambu dapat dengan mudah diperoleh.
- Pertumbuhan dari bambu cepat.
- Material bambu merupakan jenis material konstruksi yang ringan untuk digunakan.
- Material bambu dapat diperbaharui dan memiliki kuat tarik yang tinggi.

2.3.2 Tulangan Transversal

Tulangan transversal atau lebih dikenal juga sengkang pada kolom memiliki pengaruh pada kekuatan penampangnya sehingga akan berkurang bersamaan dengan timbulnya masalah tekuk (*buckling*) yang dihadapi. Pada kolom, eksentrisitas dapat terjadi akibat timbulnya momen yang disebabkan oleh pelaksanaan pemasangan yang kurang sempurna, ataupun penggunaan mutu bahan yang tidak merata. Semakin pendek jarak sengkang pada kolom semakin besar kekuatan kolom tersebut.



Gambar 2.2. Pengekangan dengan tulangan sengkang dan tulangan longitudinal

Tulangan transversal sebaiknya didesain untuk menahan pengembangan retak geser diagonal. Lebih lanjut, tulangan longitudinal diikat bersama tulangan transversal dan mencegahnya dari tekuk yang berlebihan, dan mengekang beton di dalam kolom. Tulangan transversal biasa disebut tulangan sengkang. Tulangan sengkang membantu mencegah hancurnya beton pada penampang inti kolom sehingga kolom dapat menahan beban vertikal yang lebih besar.

Terdapat beberapa fungsi pada tulangan transversal (sengkang) :

1. Sengkang sebagai penahan gaya geser
2. Sengkang sebagai pengekan (*confinement*)
3. Sengkang sebagai penahan tekuk (*buckling*)
4. Sengkang sebagai pengikat tulangan pokok

2.4. Kolom

Kolom merupakan salah satu komponen struktur bangunan yang memiliki tugas utama untuk menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil. (SNI T-15-1991-03).

2.4.1 Fungsi Kolom

Fungsi kolom adalah sebagai penerus beban seluruh bangunan ke pondasi. Bila diumpamakan, kolom itu seperti rangka tubuh manusia yang memastikan sebuah bangunan berdiri. Kolom termasuk struktur utama untuk meneruskan berat bangunan dan beban lain seperti beban hidup (manusia dan barang-barang), serta beban hembusan angin.

2.4.2 Jenis-jenis Kolom

Menurut Wang (1986) dan Ferguson (1986) jenis-jenis kolom terdiri atas tiga, yaitu :

1. Kolom ikat (tie column).
2. Kolom spiral (spiral column).
3. Kolom komposit (composite column).

Ada tiga jenis kolom beton bertulang yaitu : (Istimawan Dipohusodo, 1994)

1. Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.
2. Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya mirip dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom. Fungsi dari tulangan spiral adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar sebelum runtuh, sehingga mampu mencegah terjadinya kehancuran seluruh struktur sebelum proses redistribusi momen dan tegangan terwujud.
3. Struktur kolom komposit, merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberikan batang tulangan pokok memanjang.

2.4.3 Kolom Pendek dengan Beban Aksial

Kolom pendek dengan beban aksial Beton dan baja dianggap sebagai satu kesatuan pada kolom yang dibebani dengan beban aksial. Akibat beban aksial yang bekerja tersebut, tegangan dan regangan yang terjadi pada kolom dianggap terdistribusi merata ke seluruh penampang kolom. Sehingga regangan yang terjadi pada beton dianggap sama dengan regangan yang terjadi pada baja $\epsilon_c = \epsilon_s$). Beton mencapai kekuatan maksimum, saat regangan yang terjadi mencapai sekitar 0,002 in./in. – 0,003 in./in. Sehingga kapasitas beban aksial maksimum yang dapat dipikul oleh kolom pendek beton bertulang merupakan penjumlahan dari kekuatan beton dan kekuatan baja. Kontribusi beton yaitu

$\sigma_c A_c$ atau $0,85 f'_c A_g$. Apabila digunakan luas penampang beton dihitung menggunakan luas penampang bersih beton, maka kontribusi kekuatan beton menjadi $0,85 f'_c (A_g - A_{st})$. Sedangkan kontribusi kekuatan baja adalah $\sigma_s A_s$ atau $f_s A_s$.

Rumus untuk mencari kuat beban aksial pada kolom adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \dots\dots\dots(2-3)$$

Rumus untuk analisis batang beton bertulang bambu dengan beban axial tekan murni adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = f''_c \times A_g \dots\dots\dots(2-4)$$

$$f''_c = K f'_c \dots\dots\dots(2-5)$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c} \dots\dots\dots(2-6)$$

Sumber : Modified Kent and Park (1971)

Dimana :

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

A_g = luas penampang bruto beton (mm²)

A_{st} = luas tulangan (mm²)

f'_c = Tegangan Maksimum Beton (MPa)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)

f_{yh} = tegangan leleh dari tulangan transversal (MPa)

ρ_s = Rasio tulangan trasversal

2.4.4 Kolom Lemah

Kasus kolom lemah merupakan salah satu kasus yang banyak dijumpai saat ini. Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya kasus kolom lemah ini, diantaranya ialah terjadinya kesalahan selama proses pengerjaan kolom, serta terjadi perubahan fungsi bangunan yang tidak sesuai dengan perencanaan awal.

Dalam proses pengerjaan kolom, kesalahan dalam pengecoran dapat terjadi karena kesalahan manusia (*human error*). Kesalahan ini dapat berupa kesalahan selama pencampuran bahan, baik itu berupa kesalahan dalam penakaran komposisi dari perbandingan bahan, kesalahan dalam proses pengadukan yang kurang merata. Kesalahan ini pun juga dapat disebabkan oleh kualitas material dari pembuatan kolom memiliki nilai

yang rendah dan buruk, sehingga menghasilkan kolom dengan kualitas yang buruk pula dan mengalami kegagalan dalam pengerjaan.

Di beberapa kasus lainnya, dalam suatu bangunan seringkali terjadi perubahan desain maupun fungsi yang mengakibatkan perlunya dilaksanakan perkuatan kolom guna meningkatkan kemampuan dari struktur kolom untuk dapat menopang struktur yang ada di atasnya. Beberapa contoh perubahan desain bangunan ialah penambahan jumlah tingkat bangunan, yang dimana hal ini tentu memerlukan perkuatan pada kolom karena jumlah struktur atas dari bangunan semakin bertambah. Selain itu, seringkali bangunan mengalami perubahan fungsi yang memerlukan adanya perkuatan kolom, karena perencanaan kolom awal yang tidak sesuai dengan perencanaan kolom pada bangunan yang baru.

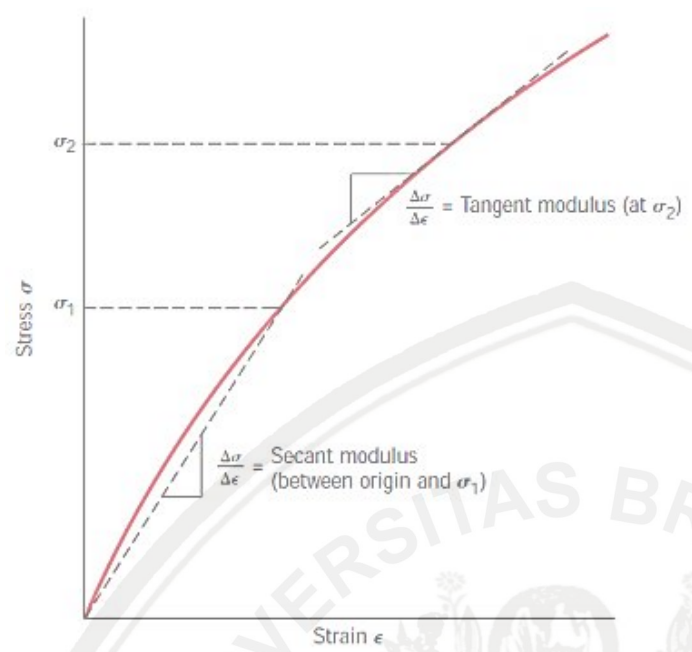
Pada kasus kolom lemah, tentunya fungsi dari struktur kolom akan tidak maksimal. Pada kondisi normal, suatu struktur kolom harus mampu menahan struktur yang ada di atasnya kemudian menyalurkannya menuju pondasi bangunan. Selain itu, sebuah kolom pun harus mampu menahan beban aksial/tekan tanpa terjadi tekuk. Lemahnya kolom dapat mengakibatkan kegagalan dalam konstruksi dan runtuhnya bangunan. Beberapa karakteristik kasus kolom lemah yang sering dijumpai diantaranya sebagai berikut :

1. Selimut beton terkelupas
Selimut beton pada kolom terkelupas, dapat disebabkan oleh rendahnya kualitas/mutu beton yang digunakan, sehingga kekuatan beton terhadap tekanan berkurang dan selimut beton mudah pecah. Kontrol terhadap tahapan pembangunan sangat diperlukan untuk mencegah penurunan kualitas beton.
2. Tulangan bengkok
Kerusakan pada kolom dimana tulangan besi utama terlihat bengkok. Secara kasat mata terlihat kolom sedikit bengkok. Hal ini diakibatkan kurangnya jumlah dan atau kurangnya ukuran besi pengikat (sengkang).
3. Retak rambut dengan pola tidak beraturan
Saat usia bangunan masih muda, retak-retak rambut sudah bisa dideteksi. Sekalipun retak rambut tidak membahayakan, namun cukup mengganggu pemandangan. Retak-retak kecil ini banyak disebabkan oleh pengaruh lingkungan, yaitu perubahan suhu panas dan dingin yang drastis. Misalnya rumah dibangun pada musim panas, setelah selesai terpapar hujan terus menerus.

2.4.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah suatu nilai yang digunakan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu benda. Semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda

menjadi kaku untuk mengalami perpanjangan atau perpendekan. Demikian pula sebaliknya, semakin kecil nilai modulus elastisitas benda maka benda semakin mudah mengalami perpanjangan atau perpendekan.



Gambar 2.3. Grafik Hubungan Tegangan Regangan (tangen dan secan modulus)

Sumber : Amyrezza (2015)

Digunakan rumus untuk mencari modulus elastisitas sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots \dots \dots (2-6)$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ε = Regangan

2.4.6 Kekakuan

Kekakuan adalah gaya yang dibutuhkan suatu elemen untuk menghasilkan suatu lendutan (Genre & Timoshenko, 1996)

Digunakan rumus untuk mencari kekakuan sebagai berikut :

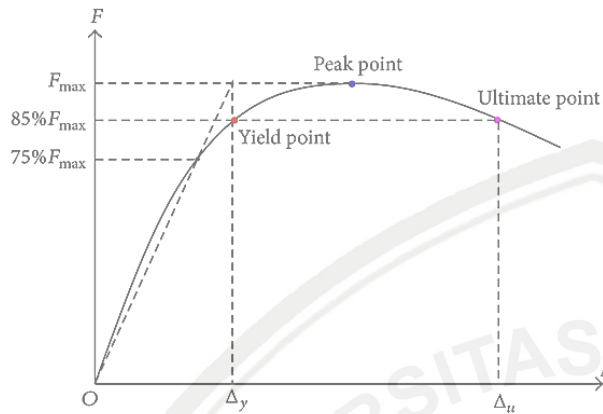
$$k = \frac{P}{\Delta} \dots \dots \dots (2-7)$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

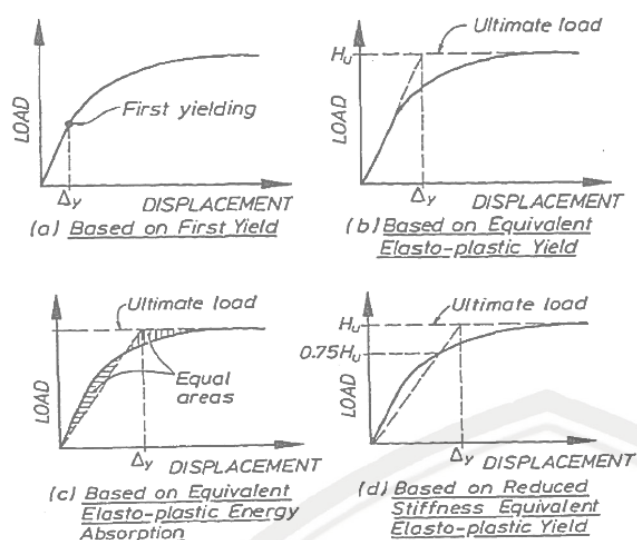
Δ = Defleksi (mm)



Gambar 2.4. Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial

Sumber : Hongmei Zhang et al. (2014)

Dari grafik diatas, terdapat empat kondisi nilai kekakuan yaitu kekakuan pada kondisi elastis, leleh, *ultimate*, dan runtuh. Kekakuan elastis adalah kemampuan suatu struktur untuk kembali ke bentuk awal setelah dibebani. Pada grafik di atas, hubungan gaya tekan dan deformasi, diperoleh nilai kekakuan elastis dari tangen arah kurva yang berbentuk linier. Setelah struktur mengalami fase elastis, fase plastis akan muncul bila beban terus ditambah. Di fase plastis inilah mulai terbentuk sendi plastis dan kemampuan elastis struktur mulai hilang yang berarti struktur tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah dibebani. Fase plastis ditandai dengan mulai keluarnya retak awal. Jika beban terus ditingkatkan, maka struktur akan mencapai batas *ultimate* nya, yaitu ketika struktur sudah tidak mampu menahan beban lagi (Wiratman, 2002). Fase terakhir dari kekakuan adalah kekakuan runtuh yang terjadi setelah beban *ultimate* tercapai. Lendutan pada titik leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate* (Park, 1988).



Gambar 2.5. Beberapa Alternatif Pengambilan Lendutan pada Titik Leleh

Sumber : Park (1988)

2.4.7 Daktilitas

Daktilitas (*ductility*) adalah sifat dari suatu bahan yang dapat melalui perubahan bentuk secara permanen tanpa adanya kerusakan. Daktilitas atau keuletan diperlukan pada proses perencanaan beban terhadap suatu bahan guna mencegah kerusakan yang tidak terdeteksi apabila suatu bahan menerima beban yang besar secara tiba-tiba, karena perubahan bentuk plastis pada bahan akan membantu untuk mengidentifikasi beban yang berlebihan sebelum terjadi kerusakan yang tidak diinginkan. Berikut merupakan rumus untuk mencari daktilitas dari suatu bahan :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \dots \dots \dots (2-8)$$

Dimana :

μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)



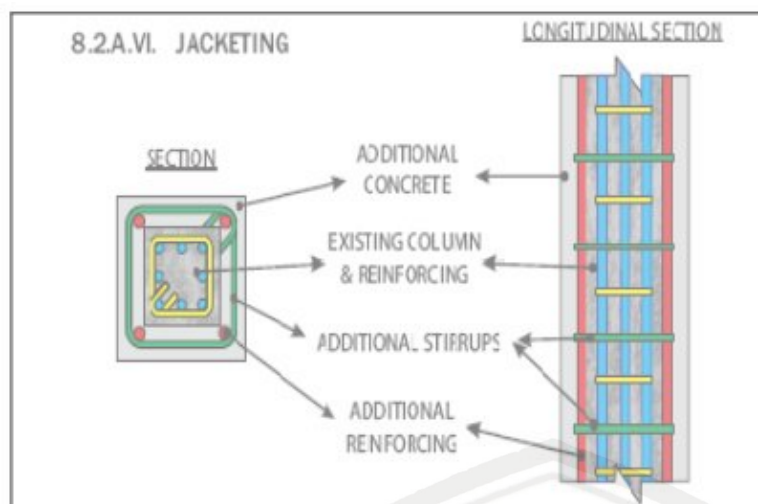
Gambar 2.6. Grafik Nilai Daktilitas

2.5. Retrofit

Retrofit ialah suatu bentuk metode atau tindakan yang dapat dilakukan guna memperbaiki atau memperkuat suatu struktur bangunan yang mengalami kerusakan atau kegagalan perencanaan.

Beberapa metode perbaikan atau kekuatan kolom yang dapat digunakan adalah:

1. Menambah jumlah tulangan dan melakukan penjangkaran sambungan kolom-balok serta merapatkan jarak sengkang kolom. Pada metode ini bagian kolom atau balok yang mengalami kerusakan dapat dibobok. Kemudian dilakukan penjangkaran sambungan kolom-balok sepanjang $40D$. Sengkang kolom dan balok juga dirapatkan. Metode ini mudah untuk dilakukan dan tidak membutuhkan pekerja yang banyak dan juga peralatan yang digunakan lebih sederhana.
2. Menambah jumlah tulangan dan sengkang di luar kolom/balok beton, kemudian ditutup kembali dengan selimut beton/*jacketing* (Gambar 2.5). Dengan menambah dimensi kolom, hal tersebut akan menambah kapasitas dukung kolom. Dalam penelitian Kawashima et.al (1997), metode *jacketing* dapat meningkatkan kapasitas aksial kolom metode *jacketing* ini banyak digunakan, terlebih metode ini mulai dikembangkan dengan bahan material komposit seperti FRP (Fiber Reinforced Polymer), GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer), dan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer.).



Gambar 2.7. Perbaikan Kolom dengan metode *jacketing*

Sumber : Boen (2009)

Dalam penelitian ini, akan diterapkan Metode *concrete jacketing* dimana selimut dengan material beton akan diganti dengan material *mortar*. Metode *Jacketing* memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

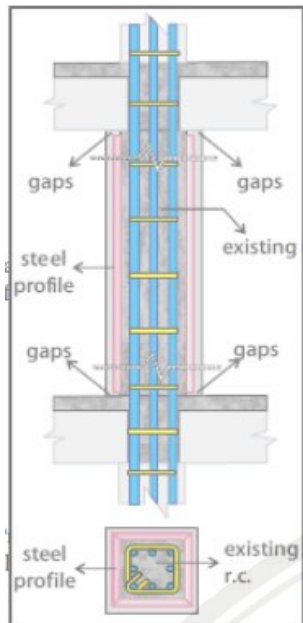
a. Kelebihan:

- Meningkatkan daktilitas struktur dan kekuatan dari struktur.
- Menambah kekakuan dari struktur.
- Meningkatkan stabilitas dari struktur.
- Biaya lebih ekonomis
- *Mortar jacketing* memiliki ukuran material yang lebih kecil dan halus, sehingga dapat mengisi celah pada perbedaan dimensi kolom retrofit dan kolom asli.

b. Kekurangan:

- kolom retrofit menambah ukuran kolom akan menjadi lebih besar sehingga dapat mengurangi ruang kosong yang ada.
- Dapat menyebabkan kekakuan yang tidak merata apabila pengecoran *jacketing* tidak diperhatikan dengan baik.

3. Menyelubungi kolom beton dengan profil baja persegi dan kemudian melakukan *grouting* pada celah-celah antara beton dan baja (Gambar 2.6).



Gambar 2.8. Penambahan Profil Baja pada Kolom

Sumber : Boen (2009)

Metode ini membutuhkan waktu dan pekerja yang intensif, selain itu akan menimbulkan beban mati tambahan pada struktur, dan juga perlekatan (bonding) antara beton baru dengan beton lama bisa saja kurang sempurna karena kesalahan pada saat pemasangannya.

2.6. Bambu

Bambu merupakan salah satu jenis tanaman yang dapat tumbuh secara alami serta mudah ditanam. Terdapat ratusan macam jenis bambu, tetapi dari ratusan jenis itu hanya ada empat macam saja yang dianggap sebagai jenis bambu yang dapat dimanfaatkan dan umum dipasarkan di Indonesia, yakni bambu jenis petung, bambu jenis wulung, bambu jenis tali dan bambu jenis duri (Frick, 2004).

Pemilihan bamboo sebagai material untuk tulangan alternatif sebagai pengganti tulangan baja karena bamboo merupakan produk hasil alam yang *renewable*, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek global warming serta memiliki kuat tarik sangat tinggi yang dapat bersaing dengan kuat tarik baja (Setiya Budi, 2010).

2.6.1 Bambu Petung

Bambu petung (*Dendrocalamus sp*) berbagai daerah di Indonesia dikenal dengan nama tiying petung, buluh petung, pring petung, awi petung, buluh swanggi, jajang petung, au petung, bulo lotung dan lainnya (Morisco, 1999:2-4). Bambu petung dapat tumbuh di

dataran rendah sampai pegunungan dengan ketinggian 2000 m diatas permukaan laut. Pertumbuhannya cukup baik khususnya daerah yang tidak terlalu kering. Warna kulit batang umumnya warna hijau kekuning kuningan. Panjang batang dapat mencapai antara 10 sampai 14 meter, panjang ruas berkisar antara 40 sampai 60 centimeter dengan diameter antara 6 sampai 15 centimeter dan tebal dindingnya antara 10 sampai 20 milimeter.

2.6.2 Bambu Apus

Bambu apus termasuk dalam genus *Gigantochloa* yang memiliki rumpun yang rapat. Bambu apus dikenal juga sebagai bambu tali, awi tali, atau pring tali. Bambu apus/tali kuat terhadap tarik, terutama kulit bambu yang merupakan pelindung dan bagian terkuat dari bambu. Selain itu, bambu ini juga mudah dilenturkan dibanding bambu jenis lain, tahan lama sekalipun tanpa pengawetan, dan mudah didapatkan.

2.6.3 Kuat Tarik Bambu

Bambu memiliki banyak kelebihan, dimana salah satunya memiliki kuat tarik yang tinggi yang dapat dipersaingkan dengan kuat tarik baja. Menurut Jansen (1980) faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah sebagai berikut :

1. Kandungan air, semakin sedikit kandungan air yang terdapat pada bambu maka kuat tarik bambu semakin kuat.
2. Ada tidaknya nodia pada bambu. Pada batang bambu yang bernodia atau beruas maka bambu itu mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibanding dengan bambu yang tidak terdapat nodia atau ruas.

Kuat tarik sejajar serat bambu hasil penelitian yang dilakukan oleh Morisco (1999) menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 2000 – 3000 kg/cm². Sementara itu kuat batas dan tegangan ijin bambu sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1.

Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal

Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
Tarik	981 - 3920	294,2
Lentur	686 - 2940	98,07
Tekan	245 - 981	78,45
E Tarik	98070 - 294200	196,1 x 10 ³

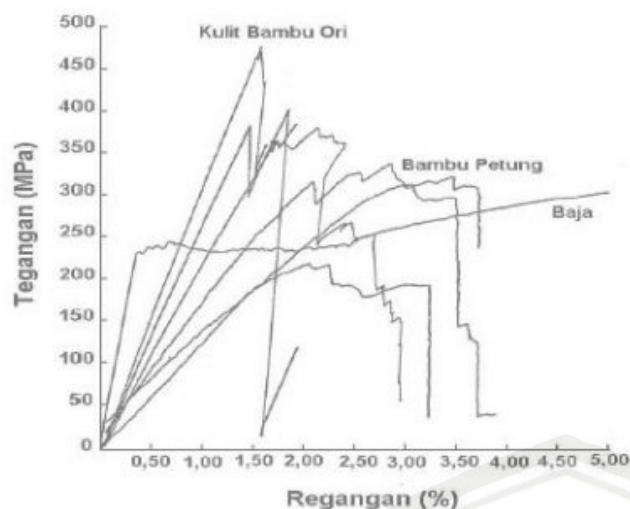
Sumber: Morisco (1999)

Morisco (1999) juga telah melakukan pengujian kuat tarik dengan empat jenis yaitu bambu ori (*bambusa bambos becke*), bambu Petung (*dendracalamus asper schult*), bambu wulung (*gigantochloa vercillata munro*) dan bambu tutul (*bambusa vulgaris schrad*), dimana di dalam pengujian ini bambu yang digunakan adalah bambu dengan nodia dan juga tanpa nodia. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2.

Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74
Apus	151	55



Gambar 2.9. Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja

Sumber : Morisco (1999)

Dari Gambar 2.7 tegangan-regangan bambu dan baja, dapat dilihat bahwa bambu ori memiliki kekuatan yang cukup tinggi yaitu hampir dua kali tegangan leleh baja. Selain bambu ori, kuat tarik rata-rata dari bambu petung juga lebih besar dari tegangan leleh baja.

2.6.4 Kuat Tekan Bambu

Kekuatan tekan ialah kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian-bagian bambu secara bersama-sama (Pathurahman, 1998) .

Berdasarkan penelitian Sidik Mustafa (2010) diketahui kuat tekan bambu petung seperti pada Tabel 2.3 berikut ini :

Tabel 2.3.

Kuat tekan bambu petung

Sifat Mekanika	Umur	Rata-rata (Mpa)
Kuat Tekan	Muda	37,52
	Dewasa	46,59
	Tua	43,13

Sumber : Sidik Mustafa (2010)

2.6.5 Perlakuan Bambu sebagai Tulangan

Penelitian terkait bambu sebagai pengganti tulangan baja pada beton bertulang sudah dilakukan sejak tahun 1979 di Brazil dan Puerto Rico. Bambu akan mengembang ketika

pori bambu menyerap air dan saat beton telah mengeras dan menyusut, bambu akan menyusut dengan tingkat yang lebih besar dari beton. Oleh karena itu, tulangan bambu perlu diberi perlakuan khusus berupa pemberian lapisan kedap air dan kemudian dilumuri pasir. Sehingga permukaan bambu akan menjadi kasar dan daya lekat bambu terhadap beton menjadi tinggi.

2.7. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu ini menjadi salah satu pedoman penulis dalam melakukan penelitian. Dari penelitian sebelumnya, penulis tidak menemukan judul penelitian yang sama dengan judul penelitian penulis. Namun penulis mengangkat beberapa judul penelitian sebagai referensi untuk memperkaya bahan kajian pada penelitian penulis. Berikut merupakan penelitian terdahulu berupa beberapa judul penelitian yang terkait dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis.

Tabel 2.4

Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Jevri Herlambang, 2017	Pengaruh Konfigurasi Tulangan Longitudinal dari Metode Jacket Beton Bertulang Bambu dengan Sengkang Baja pada Kolom Beton Bertulang	Dari hasil penelitian didapatkan untuk kolom retrofit B.3 (8 buah tulangan bambu ukuran 10 x 5 mm) lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit A.3 (4 buah tulangan bambu ukuran 10 x 10 mm).
Perbedaan : penelitian yang dilakukan Jevri Herlambang menggunakan beton sebagai selimut dalam upaya perbaikan/perkuatan kolom, sedangkan penulis menggunakan mortar sebagai selimut dalam penelitian ini. Selain itu, kolom asli dalam penelitian Jevri Herlambang diuji hingga mencapai beban puncak (<i>peak load</i>), sedangkan penulis tidak melakukan uji tekan pada kolom asli dalam penelitian ini, dengan anggapan bahwa kolom asli mengalami kasus kolom lemah.		

Sumber : hasil kajian penulis, 2018

Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
Novita Rahmasari, 2018	Pengaruh Variasi Rasio Tulangan Longitudinal	Dari hasil penelitian didapatkan bahwa kolom

	Material Bambu pada Perbaikan Kolom dengan Metode <i>Concrete Jacketing</i>	retrofit B.2 (8 buah tulangan ukuran 10 x 5 mm) lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit A.2 (4 buah tulangan ukuran 10 x 10 mm). sedangkan kolom retrofit C.2 (4 buah tulangan ukuran 10 x 20 mm) lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit D.2 (8 buah tulangan ukuran 10 x 10 mm).
<p>Perbedaan : penelitian yang dilakukan Novita Rahmasari membandingkan variasi dari ukuran atau rasio tulangan, sedangkan penulis membandingkan konfigurasi dari tulangan bambu. Selanjutnya, penelitian Novita menggunakan beton sebagai selimut dalam upaya perbaikan/perkuatan kolom, sedangkan penulis menggunakan mortar sebagai selimut dalam penelitian ini. Selain itu, kolom asli dalam penelitian Novita Rahmasari diuji hingga mencapai beban puncak (<i>peak load</i>), sedangkan penulis tidak melakukan uji tekan pada kolom asli dalam penelitian ini, dengan anggapan bahwa kolom asli mengalami kasus kolom lemah.</p>		

Sumber : hasil kajian penulis, 2018

- Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian dimulai pada bulan Juli 2018 sampai selesai.

3.2. Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa bahan guna mencapai tujuan penelitian, diantaranya meliputi:

3.2.1 *Pozzolan Portland Cement*

Pozzolan Portland Cement yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen merk Semen Gresik kemasan 40 kg. Sebelum penelitian dimulai, terlebih dahulu kemasan semen dipastikan dalam kondisi baik dan tersegel, dan tidak terjadi penggumpalan pada semen.

3.2.2 Tulangan Baja

Tulangan baja yang digunakan pada penelitian ini ialah tulangan ulir berukuran D10 mm untuk tulangan longitudinal dan ukuran Ø6 mm untuk tulangan transversal. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal dengan material baja ini digunakan pada kolom asli (kolom lemah).

3.2.3 Tulangan Bambu

Tulangan bambu yang digunakan dalam penelitian ini terdapat 2 jenis, yaitu untuk tulangan longitudinal dan tulangan transversal, dimana tulangan longitudinal menggunakan bahan bambu jenis petung dengan 2 jenis dimensi yaitu : 1 x 1 cm dan 1 x 0,5 cm dan tulangan transversal menggunakan bambu jenis apus dengan dimensi 1 x 1 cm. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal dengan material bambu ini digunakan pada kolom lemah yang diretrofit.

3.2.4 Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini ialah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Untuk ukuran spesifikasi agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah berukuran maksimum 1 cm pada kolom asli. Sedangkan untuk kolom retrofit yang digunakan hanya agregat kasar (pasir). Agregat yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari daerah Malang yang telah melalui tahap pengujian sebelum digunakan sebagai material untuk benda uji. Tahap pengujian yang dilakukan pada agregat yang akan digunakan yaitu analisis gradasi agregat, kadar air, dan berat jenis.

3.2.5 Air

Air yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.2.6 Bahan Perekat Beton

Bahan perekat beton yang digunakan dalam penelitian ini berfungsi untuk merekatkan kolom asli yang akan diperbaiki dengan kolom yang akan diretrofit. Sehingga kolom yang diretrofit akan menempel pada kolom asli yang telah diberi bahan perekat sebelumnya.

3.3. Peralatan Penelitian

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan untuk mempersiapkan material, pembuatan benda uji, hingga peralatan yang akan digunakan dalam proses pengujian benda uji. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini dapat diperoleh di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.3.1 Saringan

Pada Penelitian ini digunakan saringan untuk analisi gradasi agregat dengan ukuran No. 1,5” hingga No. 4 untuk menentukan gradasi agregat kasar (kerikil) serta digunakan saringan No. 4 hingga No. 200 untuk gradasi agregat halus (pasir).

3.3.2 Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan penyusun beton serta benda uji silinder dan kolom. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas 200 kg

dengan ketelitian 10 gram dan timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 gram.

3.3.3 Mesin Pengaduk Beton

Mesin ini digunakan untuk mengaduk campuran bahan-bahan beton (Agregat, semen, air) hingga menjadi campuran yang homogen.

3.3.4 Cetakan Benda Uji

Dalam penelitian ini digunakan beberapa cetakan benda uji sebagai berikut :

1. Cetakan mortar dengan ukuran 5 x 5 x 5 cm (terbuat dari baja).
2. Benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm (terbuat dari baja).
3. Cetakan benda uji mortar ukuran 5 x 5 x 5 cm (terbuat dari baja dan kayu).
4. Benda uji kolom asli dengan ukuran 12 x 12 x 30 cm (terbuat dari kayu yang dapat dibongkar pasang).
5. Benda uji kolom retrofit dengan ukuran 18 x 18 x 25 cm (terbuat dari kayu yang dapat dibongkar pasang).

3.3.5 Alat Uji Tekan

Alat uji tekan digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji beton sesungguhnya. Alat uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Compression Test Machine*.

3.3.6 Alat Uji Tarik

Alat uji tarik digunakan untuk mengetahui kuat tarik dari tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Hydraulic Universal Testing Machine*.

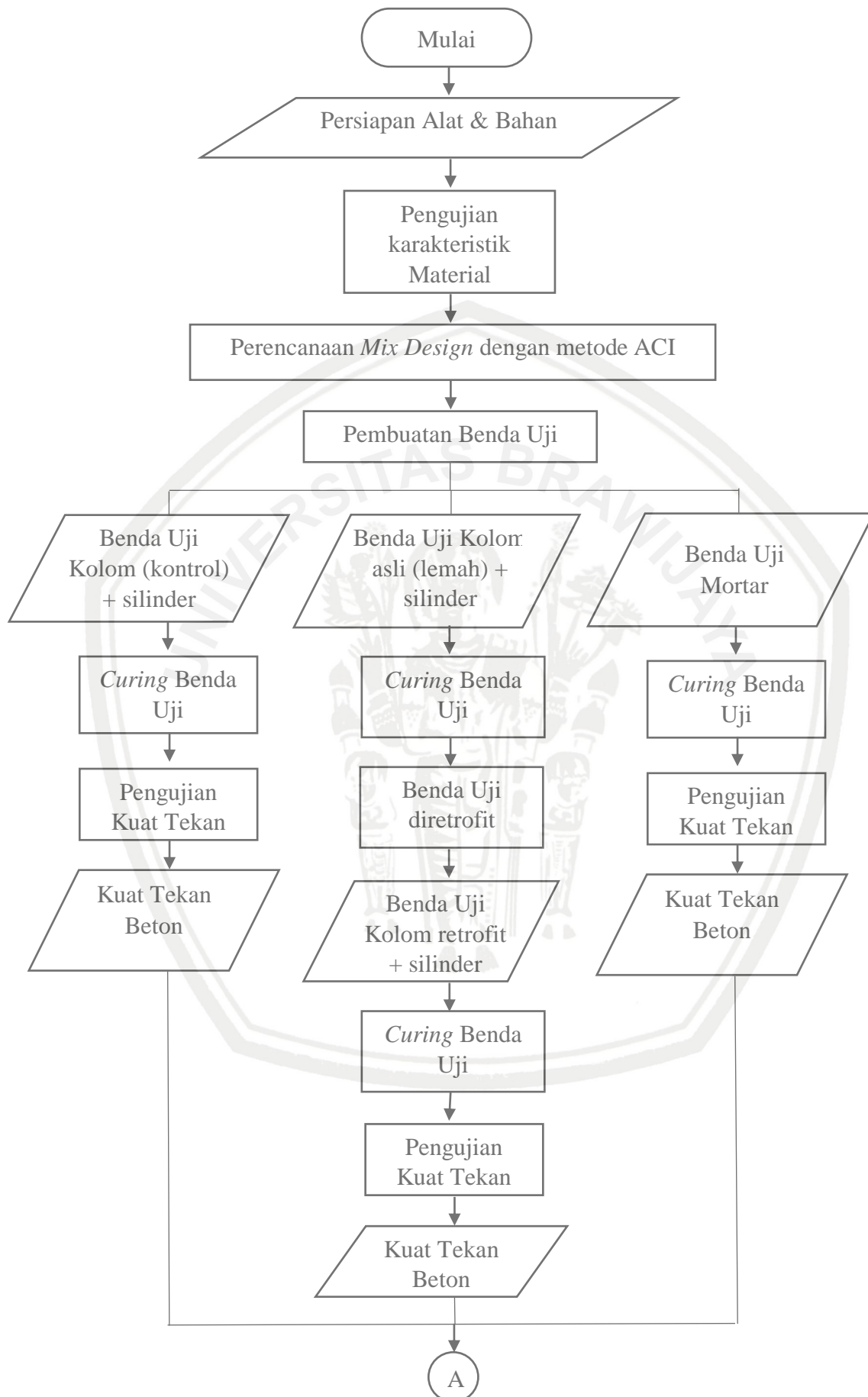
3.3.7 Dial Gauge Digital

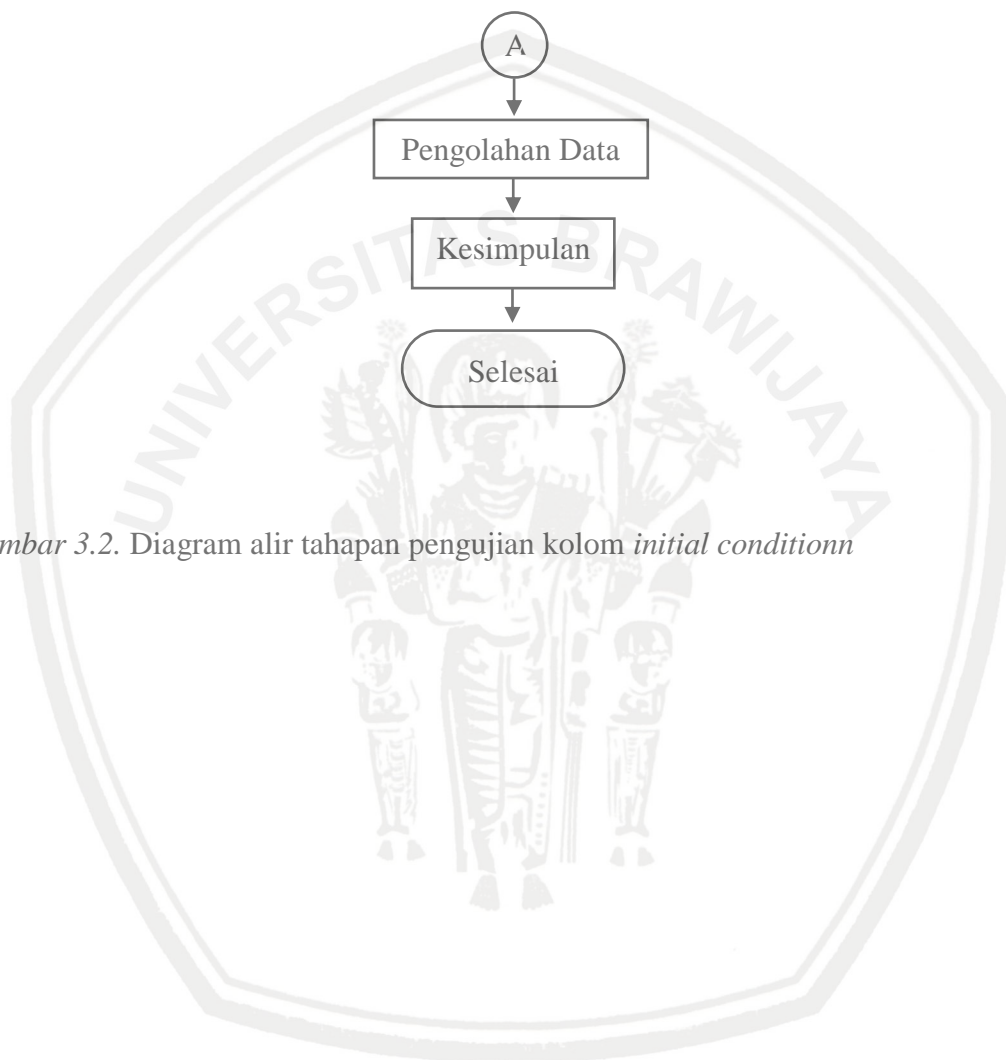
Penelitian ini menggunakan alat tambahan *dial gauge digital* yang akan dipasang pada benda uji pada saat uji tekan. Dial ini berfungsi untuk mengetahui perubahan panjang dari benda uji pada saat diuji tekan sehingga mendapatkan data defleksi dari benda uji kolom.

3.3.8 Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya antara lain plat, kardus, ember, alat pengaduk, karung goni, serta bak air untuk proses perawatan benda uji.

3.4. Tahapan Penelitian





Gambar 3.2. Diagram alir tahapan pengujian kolom *initial conditionn*

3.5. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat dua jenis benda uji yaitu benda uji silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit dan benda uji kolom. Benda uji silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, sedangkan benda uji kolom asli berukuran 12 x 12 x 30 dan benda uji kolom retrofit berukuran 18 x 18 x 25 cm. Masing masing benda uji kolom lemah yang diretrofit diberikan variasi tulangan dan jarak sengkang yang berbeda. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1

Penelitian kolom retrofit dengan variasi tulangan bambu dan jarak sengkang yang berbeda

Kode Kolom	Tulangan Bambu	rho	Sengkang bambu	
			5	6
			Jarak 7 cm	Jarak 11 cm
A	4bh 10 x 10	1,23	3 buah	3 buah
B	8bh 10 x 5	1,23	3 buah	3 buah

Pada penelitian ini kolom asli menggunakan material baja sebagai tulangan, baik itu tulangan longitudinal maupun tulangan transversal. Adapun tulangan yang digunakan ialah tulangan longitudinal menggunakan ulir dengan diameter 10 mm sedangkan untuk transversal menggunakan polos dengan diameter 6 mm.

Selanjutnya untuk benda uji kolom retrofit menggunakan material bambu sebagai tulangan longitudinal maupun tulangan transversal (sengkang). Adapun kode kolom yang digunakan dalam penelitian ini ialah kode kolom A5 – B5 dan A6 – B6. Yaitu, kolom retrofit kode A5 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 7 cm sedangkan kolom retrofit kode B5 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 5 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 7 cm, selanjutnya untuk kolom retrofit kode A6 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 11 cm dan kolom retrofit kode B6 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 5 mm dan dengan jarak antar tulangan transversal 11 cm. Sehingga nanti pada hasil penelitian akan didapatkan efektifitas konfigurasi tulangan longitudinal dari kolom retrofit yakni kolom A5 dibandingkan dengan kolom B5 dan kolom A6 dibandingkan dengan kolom B6.

Pada penelitian ini, kolom asli dianggap mengalami kegagalan dalam proses perencanaan sehingga mengalami kasus kolom lemah, untuk itu kolom asli tidak dilakukan pengujian terhadap uji kuat tekannya, dalam hal ini kolom asli berada dalam *initial condition*. Uji kuat tekan beton hanya akan dilakukan pada kolom lemah yang telah diretrofit.

Jumlah benda uji kolom asli yang digunakan yaitu 4 buah benda uji silinder sampel kolom asli untuk setiap 12 benda uji kolom asli. Sedangkan jumlah benda uji kolom retrofit yakni 4 buah benda uji silinder sampel kolom retrofit dan 12 benda uji kolom retrofit. Semua benda uji ini digunakan untuk pengujian tekan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

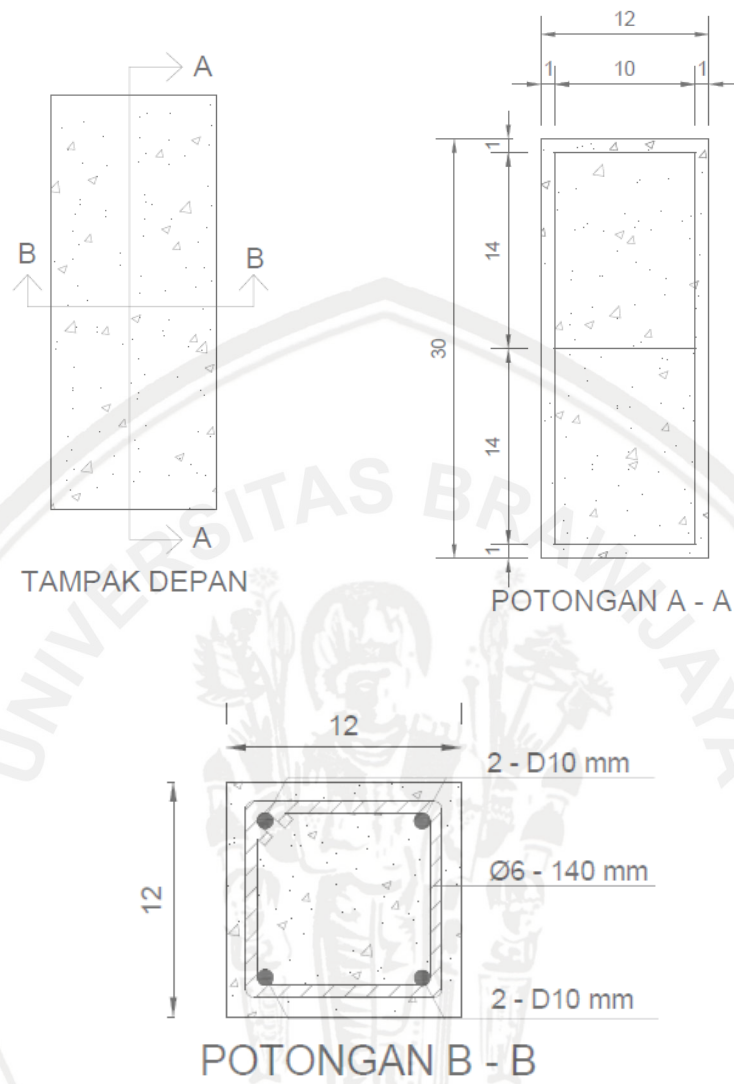
Tabel 3.2

Jumlah benda uji

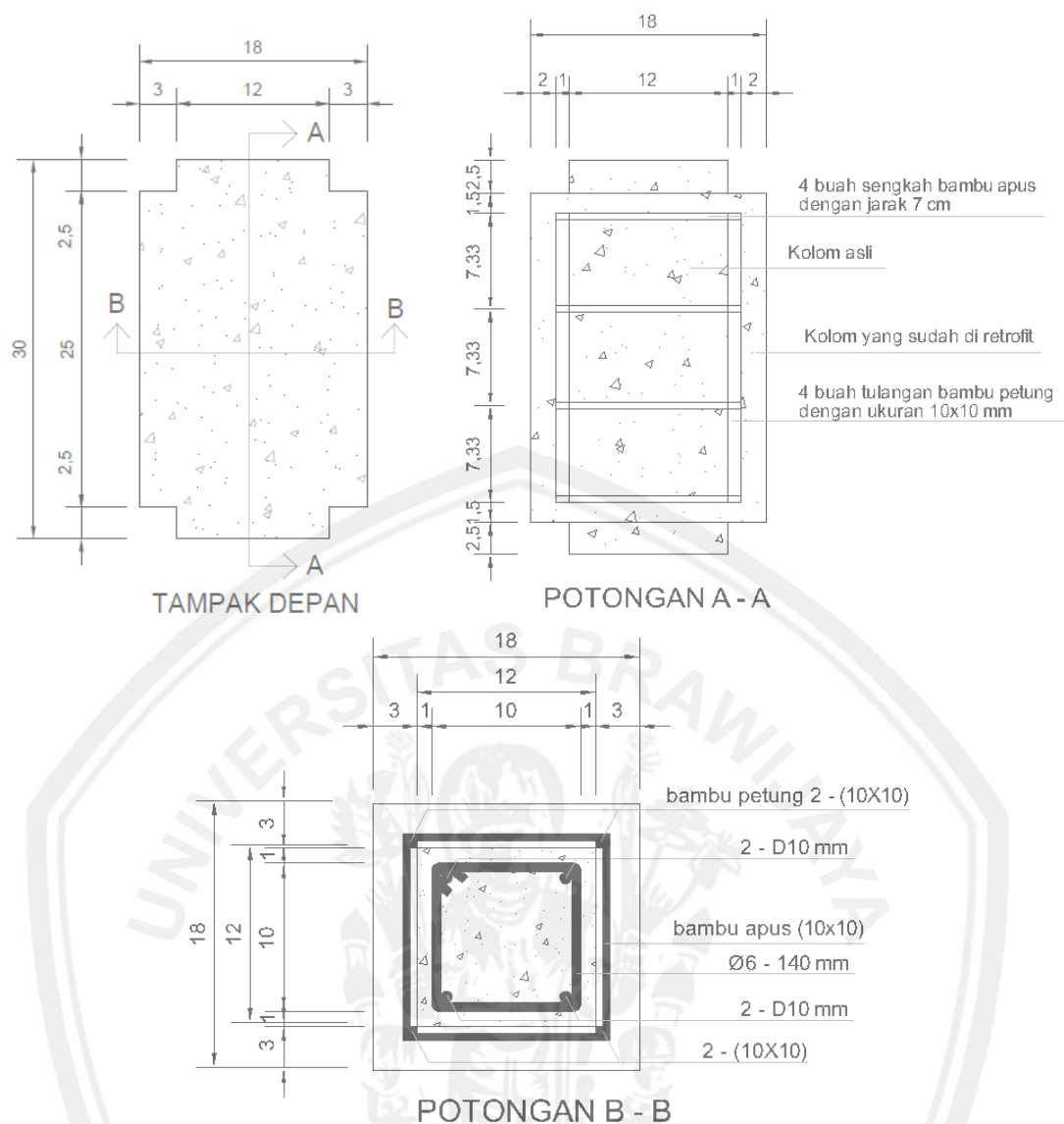
Varian	Jumlah
Benda uji silinder sampel kolom asli	4 buah
Benda uji kolom asli	12 buah
Benda uji silinder sampel kolom retrofit	4 buah
Benda uji kolom retrofit kode A5	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode B5	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode A6	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode B6	3 buah

Untuk benda uji silinder dibuat 2 untuk setiap satu kali pengecoran variasi kolom asli dan retrofit agar dapat mengontrol kuat tekan. Namun dengan catatan benda uji kolom tersebut memakai tulangan atau beton bertulang sedangkan benda uji silinder tidak menggunakan tulangan yakni hanya beton saja.

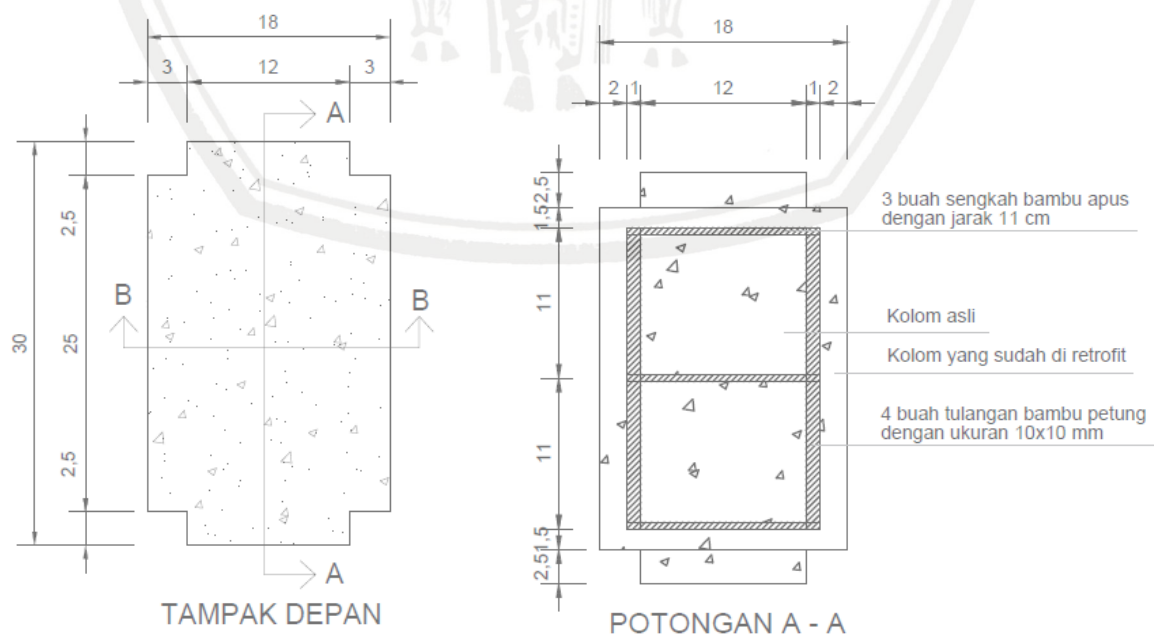
Pemodelan benda uji kolom utama dan kolom retrofit pada penelitian ini adalah seperti gambar berikut:

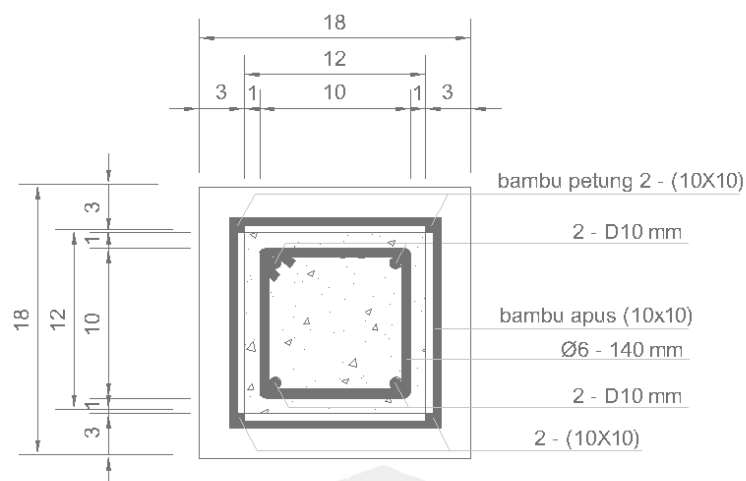


Gambar 3.3. Benda uji kolom asli



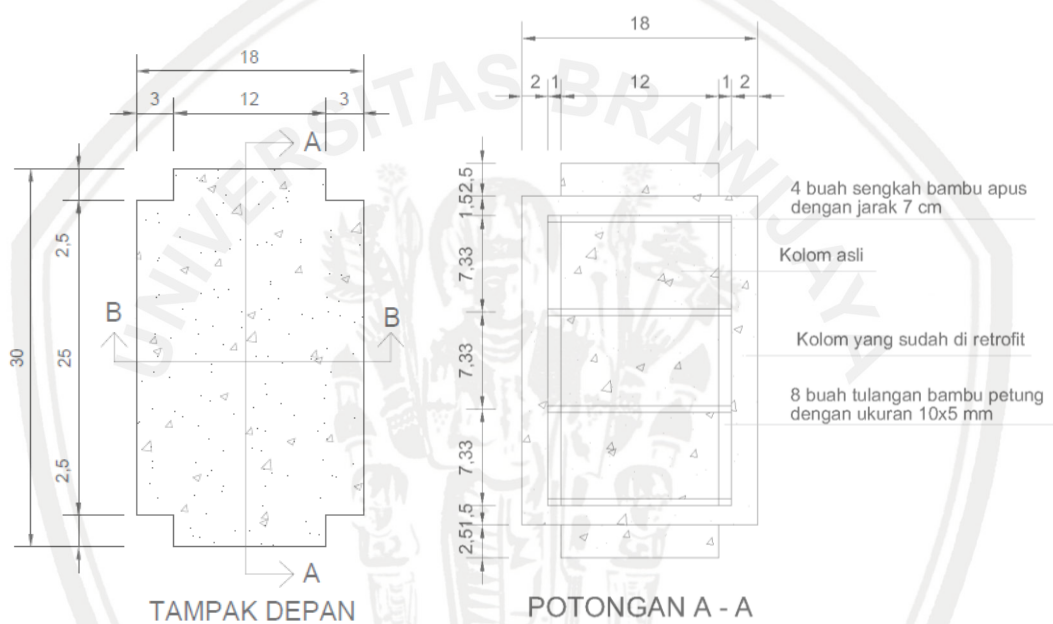
Gambar 3.4. Detail benda uji kolom retrofit A.5





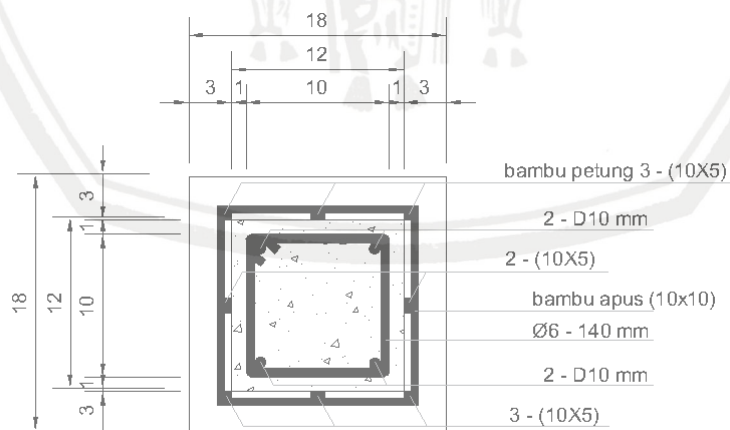
POTONGAN B - B

Gambar 3.5. Detail benda uji kolom A.6



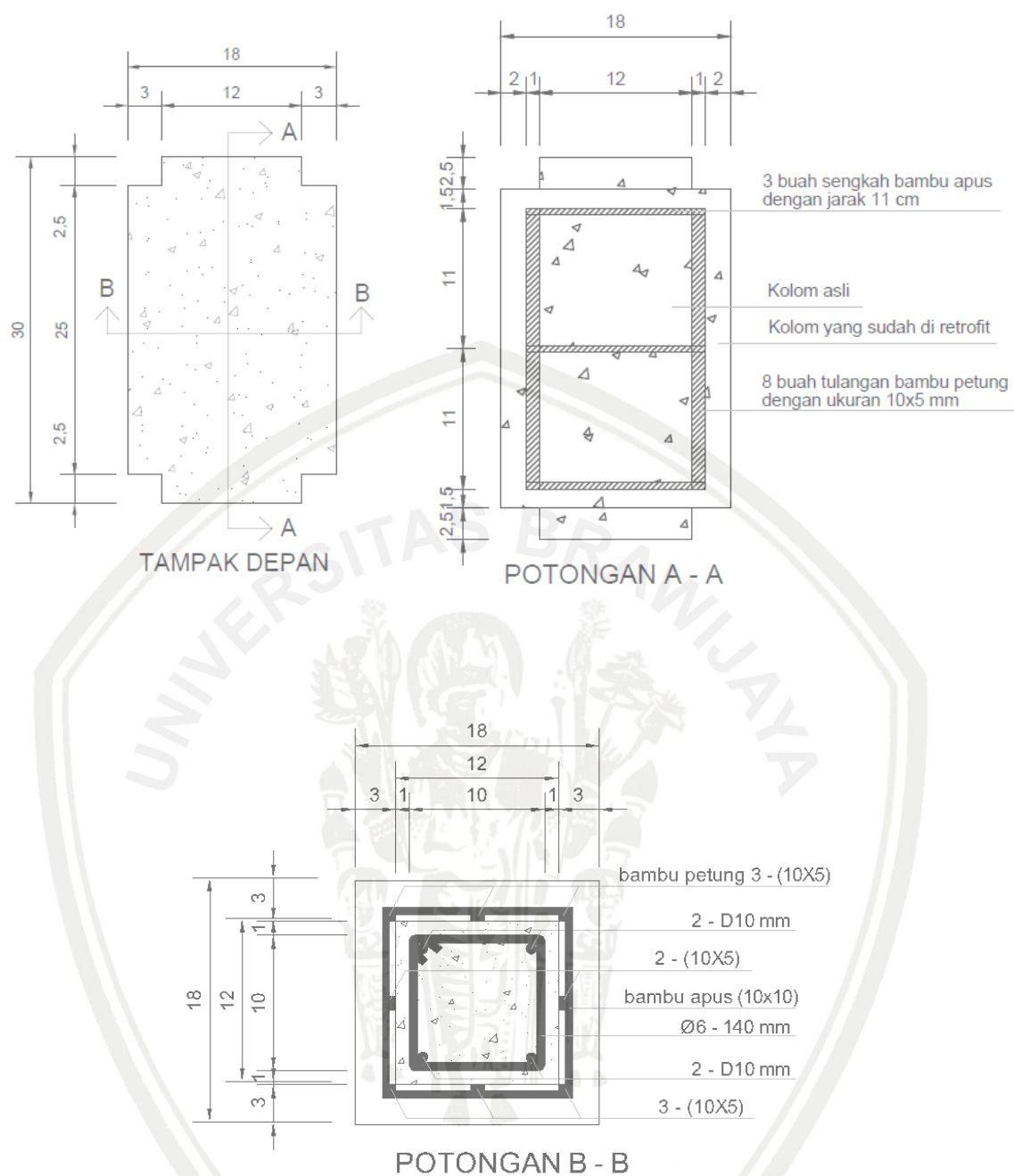
TAMPAK DEPAN

POTONGAN A - A



POTONGAN B - B

Gambar 3.6. Detail benda uji kolom B.5



Gambar 3.7. Detail benda uji kolom B.6

3.6. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang ditentukan oleh peneliti secara bebas. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah konfigurasi tulangan longitudinal pada kolom lemah yang diretrofit.
2. Variabel terikat, yaitu variabel yang dimana nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas pada kolom yang diretrofit.

3.7. Prosedur Penelitian

3.7.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan berpedoman pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Unsur-unsur dalam pengujian karakteristik dari agregat halus dan kasar meliputi: analisa gradasi butiran, pengujian berat jenis penyerapan, dan kadar air.

Dalam penelitian ini, digunakan mortar sebagai material *jacketing* pada kolom yang diretrofit. Untuk itu diperlukan mortar dengan kuat tekan yang telah ditentukan. Langkah-langkah pembuatan mortar pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun mortar disiapkan dengan kuantitas sesuai dengan variasi yang telah ditentukan untuk mencapai kuat tekan yang diinginkan.
2. Bahan-bahan tersebut kemudian dicampur dan diaduk secara manual selama kurang lebih 10 menit hingga menjadi campuran yang homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil adonan mortar kemudian dimasukkan ke dalam cetakan ukuran 5 x 5 x 5 cm yang telah diberikan lapisan tipis oli.
4. Mortar yang telah dimasukkan kedalam cetakan kemudian didiamkan selama 1 hari, setelah itu mortar di-*curing*.
5. Setelah mortar berumur 7 hari, mortar yang telah di-*curing* kemudian diangkat dan diuji kuat tekannya.

Adapun variasi dari pembuatan mortar yang digunakan dengan mengacu pada SNI 03-6285-2002 Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen untuk mendapatkan kuat tekan yang diperlukan (± 15 MPa) dengan rincian sebagai berikut :

Tabel 3.3

Variasi pengujian mortar

Kode Variasi	Pengujian			Jumlah
	Semen	Pasir	Air	
A	1	2,75	0,48	3
B	1	2	0,48	3
C	1	3,5	0,48	3
D	1	2,75	0,4	3
E	1	2,75	0,55	3
F	1	3	0,5	3
G	1	3,25	0,52	3
H	1	3,75	0,55	3
I	1	2,5	0,45	3
J	1	2,25	0,4	3

Berdasarkan hasil pengujian mortar dengan berbagai variasi yang telah ditentukan di atas, maka didapatkan hasil kuat tekan yang paling mendekati ialah variasi C (1 : 3,5 : 0,48) dimana diperoleh nilai kuat tekan rata-rata 17,267 MPa.

3.7.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom asli pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai dengan *mix design*.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga menjadi campuran yang homogen.
3. Setelah pengadukan, sebagian adonan beton diambil untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan yang telah diberi lapisan tipis oli disiapkan.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom.

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom retrofit adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.

3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
5. Benda uji kolom asli (asumsi kolom lemah) yang masih dalam *initial condition* (belum dilakukan pengujian terhadap kuat tekannya) diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan bambu petung dan sengkang bambu apus, diberi lem perekat agar beton kolom asli dan merekat dengan baik dengan beton baru untuk kolom retrofit. Setelah itu, kolom dimasukkan kedalam bekisting/cetakan yang telah disediakan.
6. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom.

3.7.3 Perawatan Benda Uji

Setelah 24 jam cetakan benda uji silinder dan kolom dibuka dan dilakukan perawatan dengan tujuan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji direndam dalam bak berisi air dengan suhu $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.
2. Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

Pada penelitian ini digunakan perawatan benda uji dengan cara benda uji diselimuti karung goni basah sehingga tiap hari dibasahi terus menerus dengan air. Perawatan benda uji yakni selama 28 hari.

3.7.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

- a. Uji kuat tekan beton silinder
 1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji dan kerapatan beton sebagai data tambahan.
 2. Pada permukaan atas benda uji dilapisi (*caping*) dengan mortar belerang dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton.

3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
 4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.
 5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton. Jika perlu, dilakukan perekaman proses pengujian uji tekan, untuk mendapatkan pembacaan hasil yang lebih teliti.
- b. Uji tekan kolom
- Uji tekan kolom hanya dilakukan untuk kolom lemah yang telah diretrofit atau diperkuat.
1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji sebagai data tambahan.
 2. Pada permukaan atas benda uji kolom diberi potongan kardus dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton. Pada permukaan bawah benda uji kolom diberi plat memanjang yang berfungsi sebagai penampang dial.
 3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
 4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur. Dan untuk mendapatkan data perubahan panjang dari benda uji, digunakan dial yang berguna untuk membaca hasil perubahan panjang pada saat setiap penambahan beban. Pada setiap penambahan beban, data hasil bacaan tersebut dicatat untuk mendapatkan grafik hubungan gaya tekan dan defleksi serta grafik hubungan tegangan dan regangan beton.
 5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.

3.7.5 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tarik baja adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu diukur diameternya dengan jangka sorong untuk mengetahui diameter sebenarnya tulangan tersebut.
2. Siapkan kertas millimeter blok untuk tempat hasil pembacaan tegangan regangan tarik dari benda uji dapat tergambar.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji tarik. Pastikan bahwa benda uji benar-benar dalam keadaan terjepit bagian atas dan bawahnya dengan kuat.
4. Mesin uji tekan dijalankan hingga benda uji putus.
5. Pada saat pengujian akan terlihat jarum pertama kali berhenti yang menunjukkan tegangan leleh dan pada pemberhentian jarum kedua yang menunjukkan kuat tarik maksimum. Setelah itu akan didapatkan grafik tegangan tarik dari benda uji.
6. Grafik yang didapat dari hasil pengujian akan di analisis.

3.8. Metode Analisis

3.8.1 Pengumpulan Data

Dari pengujian yang telah dilakukan diambil beberapa data-data yang diperlukan. Pengujian kuat tekan menghasilkan data-data beban maksimum yang kemudian dikonversikan menjadi gaya tekan dari setiap benda uji beton dan data perubahan panjang dari kolom yang akan dikonversikan menjadi defleksi. Data-data tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan masing-masing variasi dari beton.

Tabel 3.4.

Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli (kolom kontrol) dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji	Umur	Slump	Berat	Beban Maksimum	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-Rata
		(Hari)	(cm)	(kg)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)

Tabel 3.5.

Form pengumpulan data dari pengujian kuat beban aksial kolom asli (kolom komtrol) dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom Asli Aktual	Rata-Rata Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom Asli Teoritis Aktual
		(MPa)	(kN)	(kN)

Tabel 3.6

Form pengumpulan data dari pengujian uji tarik tulangan baja Ø6 mm dan D10 mm

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)

3.8.2 Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan-regangan kolom lemah yang telah diretrofit, kapasitas aksial tekan kolom dan defleksi kolom retrofit, kekakuan dan modulus elastisitas kolom lemah yang telah diretrofit dan efektifitas dimensi tulangan dan jarak sengkang pada kolom lemah yang diretrofit. Penelitian ini menggunakan alat *compression test* dan *dial gauge*, *compression test* tersebut akan

didapatkan kapasitas aksial tekan maksimum kolom dan akan dibagi dengan luasan penampang kolom tersebut maka akan didapatkan daya tekan dari kolom tersebut dan *dial gauge* akan menghasilkan nilai defleksi yang didapatkan dari hasil perpanjangan/perpendekan kolom akibat diberi beban. Selain itu, data-data yang telah didapatkan pada kapasitas tekan maksimum kolom retrofit akan didapatkan variasi dimensi tulangan dan jarak sengkang yang paling efektif. Pada penelitian ini parameter tegangan-regangan didasarkan pada nilai gaya tekan dan defleksi dari kolom. Pada pengolahan data ini akan dibandingkan antara hasil uji secara aktual dengan teoritis.

Tabel 3.7

Tabel pengolahan data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom asli (kolom kontrol) dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit

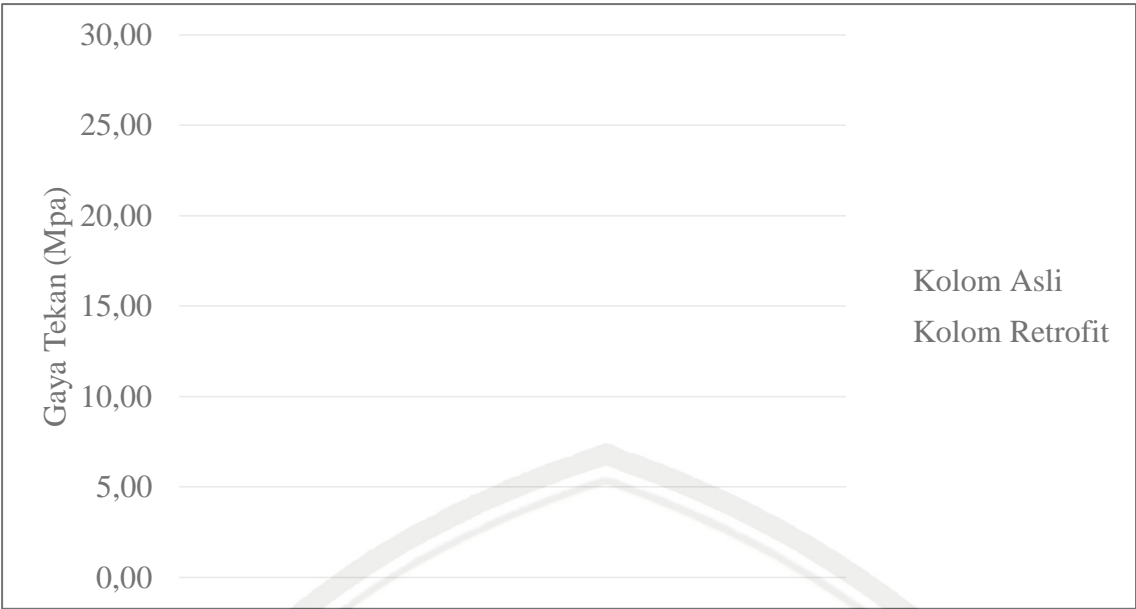
Tabel pengolahan data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom asli (kolom kontrol) dan kolom retrofit

Tabel 3.10

No	Regangan	A.1.1	A.1.2	A.1.3	RATA - RATA
		Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²

Tabel pengolahan data daktilitas pada kolom asli (kolom kontrol) dan kolom retrofit

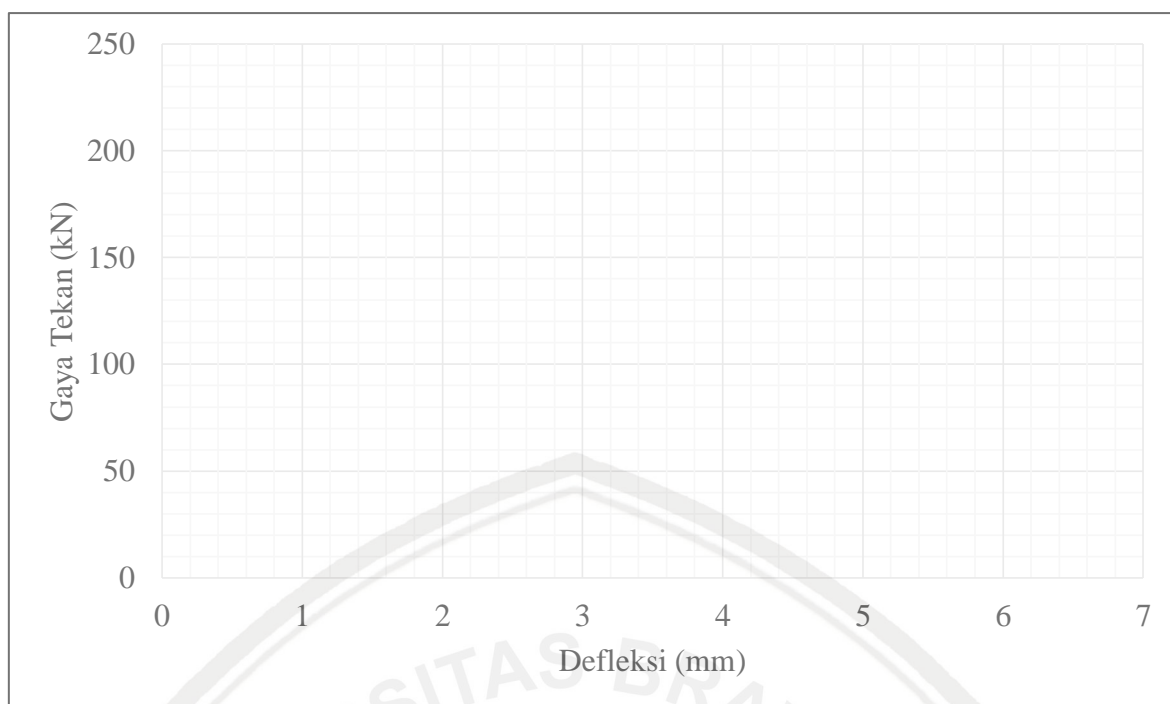
Kolom	Gaya Tekan Max	Δy	Beban Runtuh	% Beban Keruntuhan	Beban Runtuh	Δu	Daktilitas	Peningkatan Daktilitas
	kN	mm	kN		kN	mm		%



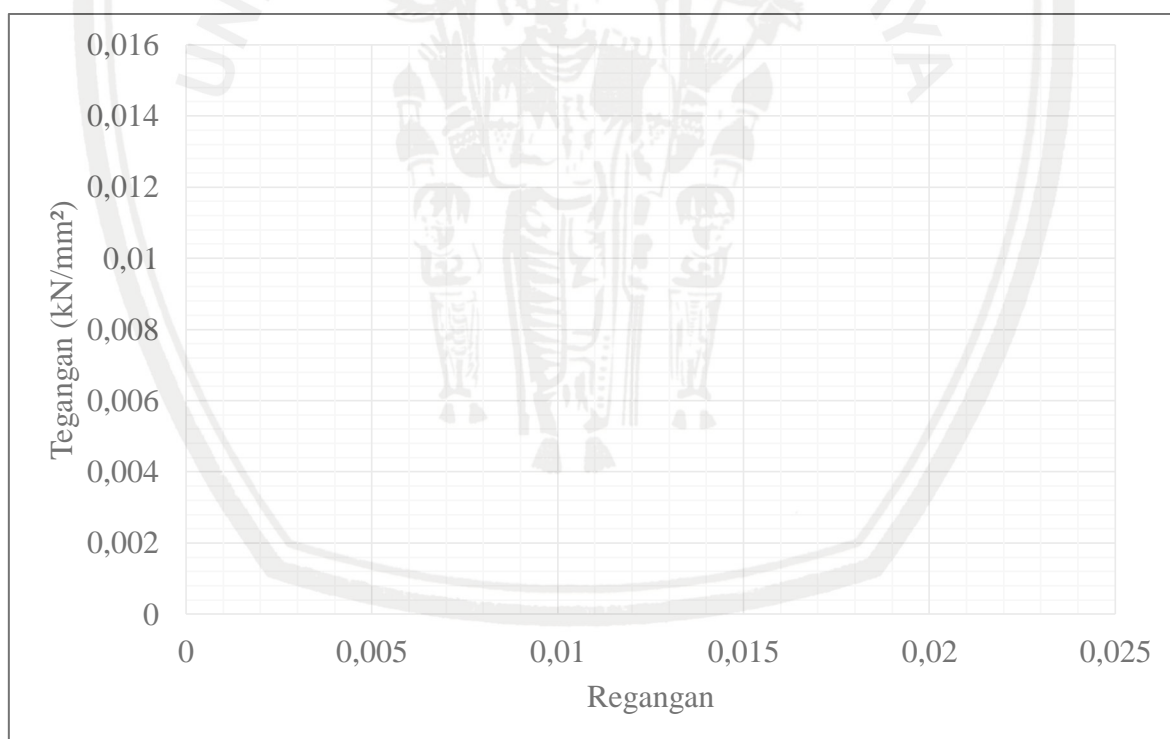
Gambar 3.8. Grafik perbandingan kuat tekan beton uji silinder kolom asli (kolom kontrol) dengan kolom retrofit.



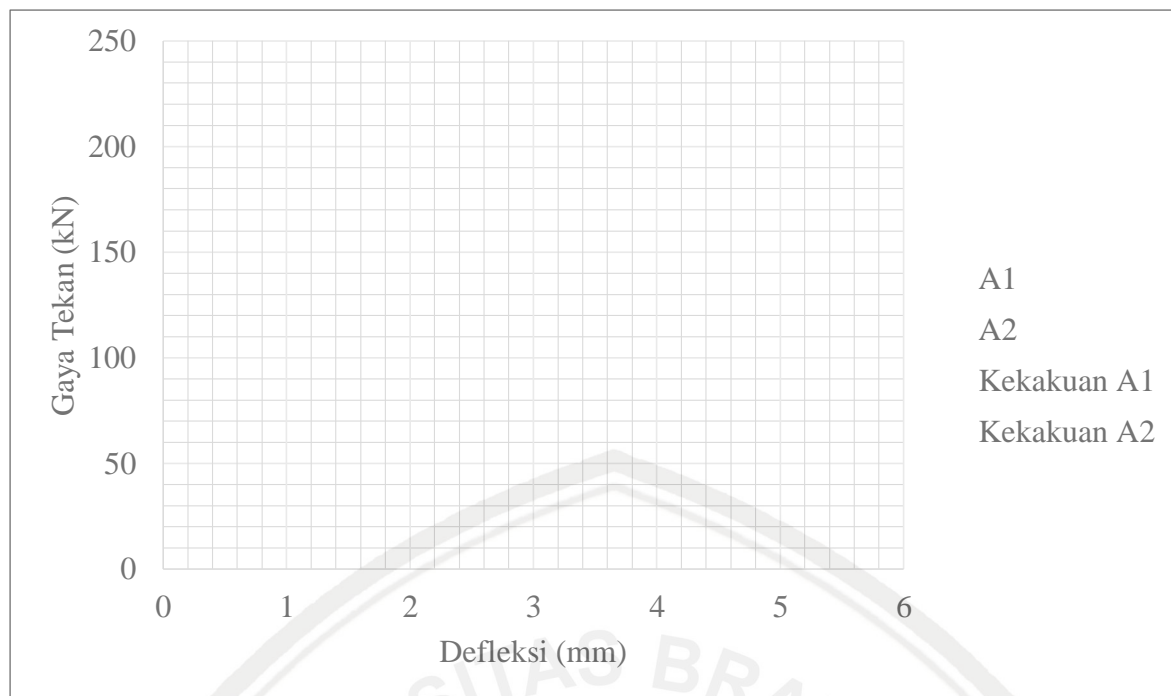
Gambar 3.9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli (kolom kontrol) dengan retrofit



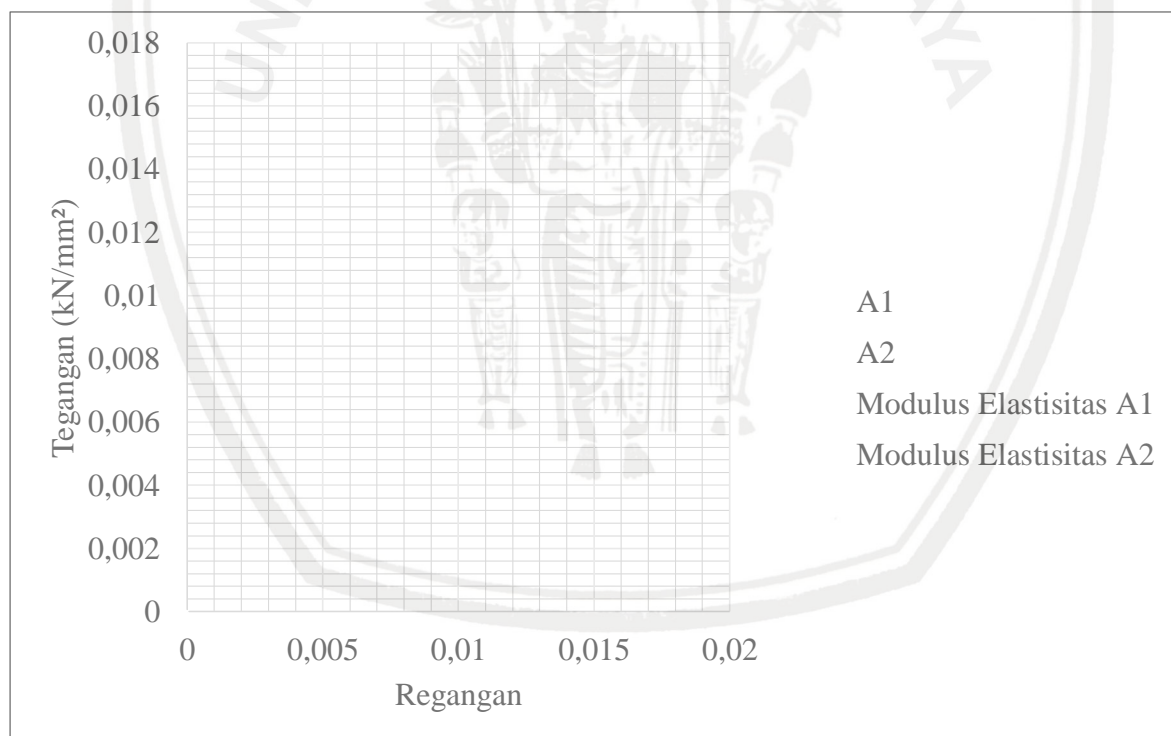
Gambar 3.10. Grafik gaya tekan dan defleksi kolom asli (kolom kontrol) dan kolom retrofit



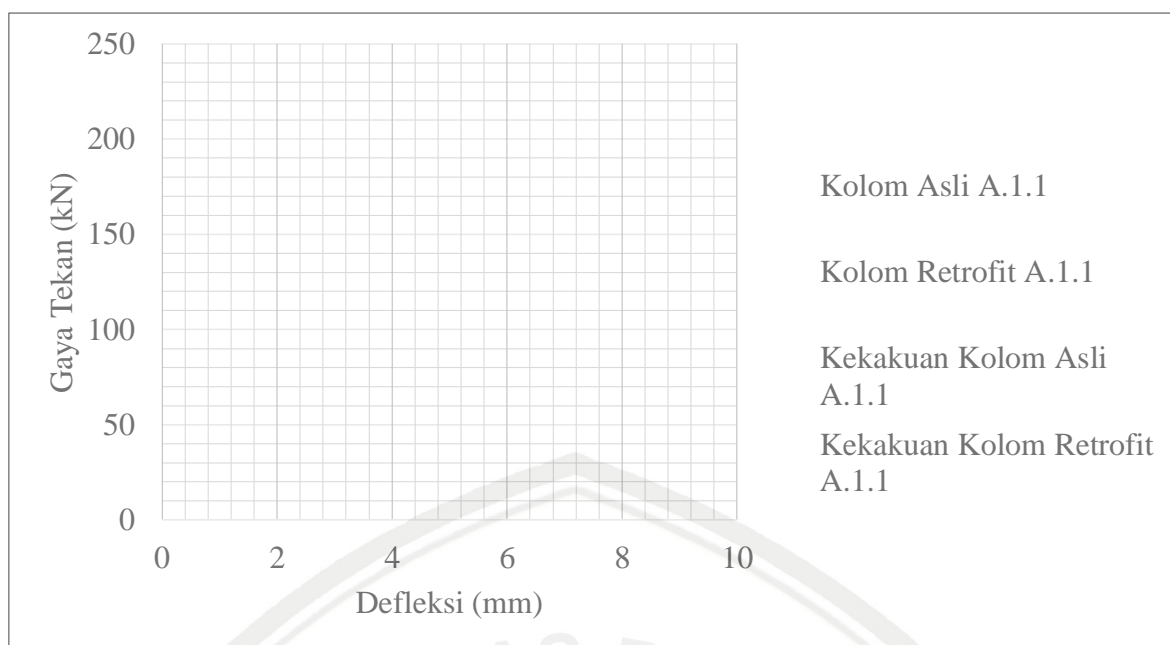
Gambar 3.11. Grafik tegangan dan regangan kolom asli (kolom kontrol) dan kolom retrofit



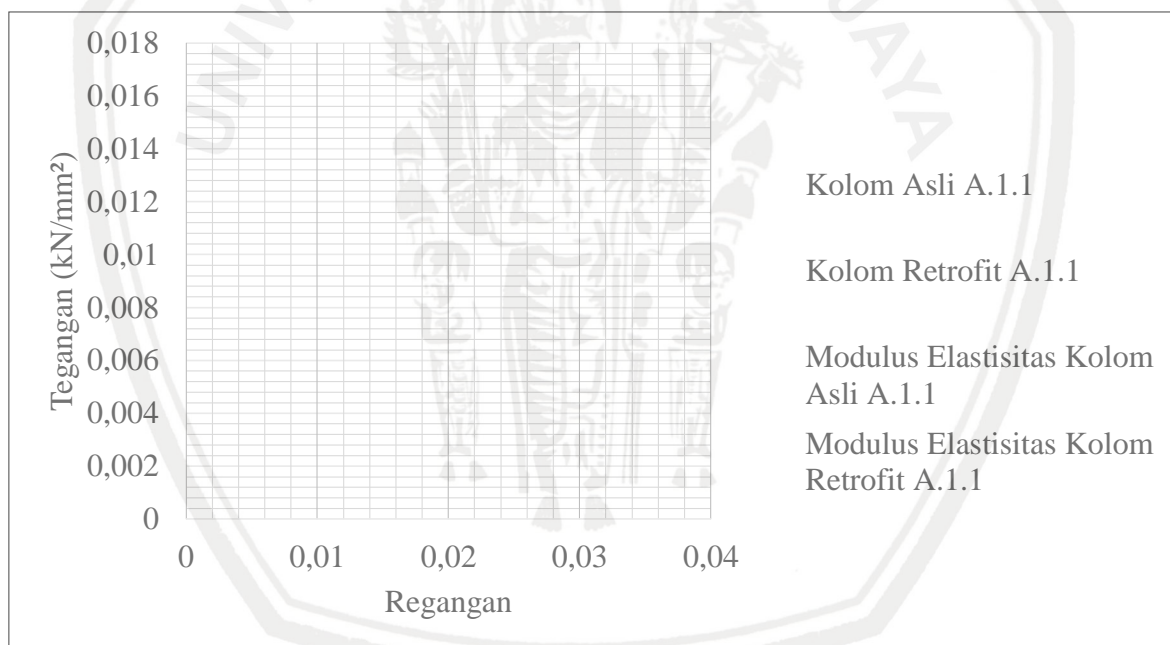
Gambar 3.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli (kolom kontrol) dan kolom retrofit



Gambar 3.13. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli (kolom kontrol) dan kolom retrofit



Gambar 3.14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli (kolom kontrol) dengan kolom retrofit

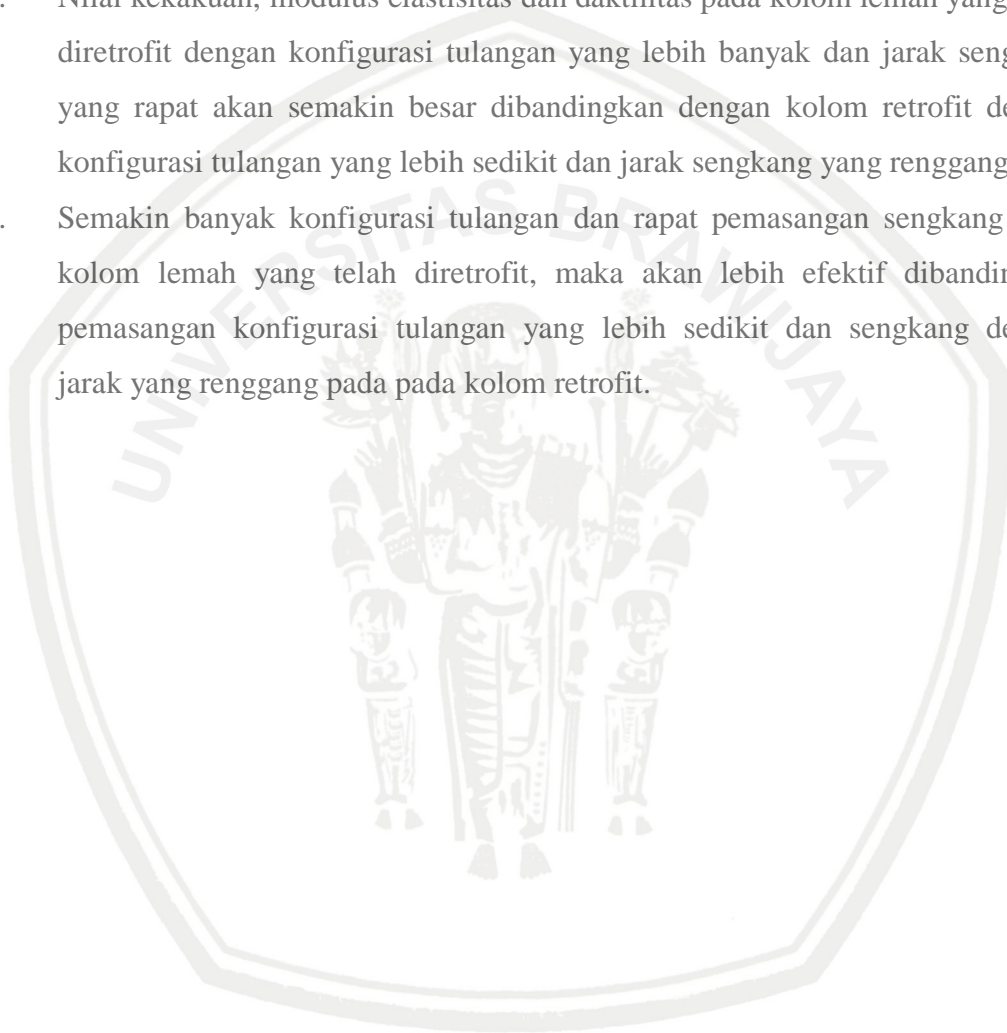


Gambar 3.15. Grafik perbandingan tegangan dan regangan kolom asli (kolom kontrol) dengan kolom retrofit.

3.9. Hipotesis Penelitian

Dari tinjauan pustaka yang telah dibahas diatas didapatkan hipotesis untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Gaya tekan maksimum kolom lemah yang telah diretrofit dengan konfigurasi tulangan yang lebih banyak dan jarak sengkang yang rapat akan lebih banyak dibandingkan dengan gaya tekan maksimum kolom lemah diretrofit dengan konfigurasi tulangan yang lebih sedikit dan jarak sengkang yang renggang.
2. Nilai kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas pada kolom lemah yang telah diretrofit dengan konfigurasi tulangan yang lebih banyak dan jarak sengkang yang rapat akan semakin besar dibandingkan dengan kolom retrofit dengan konfigurasi tulangan yang lebih sedikit dan jarak sengkang yang renggang.
3. Semakin banyak konfigurasi tulangan dan rapat pemasangan sengkang pada kolom lemah yang telah diretrofit, maka akan lebih efektif dibandingkan pemasangan konfigurasi tulangan yang lebih sedikit dan sengkang dengan jarak yang renggang pada pada kolom retrofit.



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Karakteristik Material Penyusun Benda Uji

4.1.1 Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan karakteristik dari agregat kasar yang akan digunakan ialah diperoleh sebagai berikut :

1. Zona agregat : maksimum 10 mm untuk kolom asli
2. Berat jenis SSD : 2,72
3. Penyerapan : 0,25 %
4. Berat isi : 1526,7 gr/cc
5. Kadar air : 2,42 %

4.1.2 Agregat Halus

Hasil pemeriksaan karakteristik dari agregat halus yang akan digunakan ialah diperoleh sebagai berikut :

1. Zona agregat : zona 1
2. Berat jenis SSD : 2,48
3. Penyerapan : 4,43 %
4. Berat isi : 1436,9 gr/cc
5. Kadar air : 3,77 %

4.1.3 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini merupakan yang diperoleh langsung dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang

4.1.4 Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu semen *Pozzolan Portland Cement* (PPC) dengan merk semen gresik kemasan 40 kg.

4.1.5 Hasil Uji Tarik Tulangan

Dari hasil pengujian tulangan baja yang akan digunakan diperoleh nilai dari tegangan leleh (f_y) dan tegangan putus atau tegangan ultimate (f_u) dari sampel tulangan baja yang akan digunakan. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian tarik baja dan tulangan bambu. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4.1

Uji Tulangan Baja (Tulangan Transversal) Ø6 mm

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (f_y)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
1A	6	495,15	671,99	506,94	677,88
1B	6	565,88	689,67		
1C	6	459,78	671,99		

Tabel 4.2

Uji Tulangan Baja (Tulangan Longitudinal) D10 mm

Benda Uji	Diameter	Tegangan Leleh (f_y)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
2A	10	369,24	496,56	375,61	496,56
2B	10	381,97	496,56		
2C	10	375,61	496,56		

Tabel 4.3

Uji Tulangan Bambu Petung (Tulangan Longitudinal) 10 x 10 mm

Benda Uji	Dimensi	Tegangan Leleh (f_y)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
3A	10X10	75	120	80	140
3B	10X10	85	160		

Tabel 4.4

Uji Tulangan Bambu Petung (Tulangan Longitudinal) 10x5 mm

Benda Uji	Dimensi	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
4A	10X5	100	240	80	220
4B	10X5	60	200		

Tabel 4.5

Uji Tulangan Bambu Apus (Tulangan Transversal) 10x5 mm

Benda Uji	Dimensi	Tegangan Leleh (fy)	Tegangan Ultimit	Tegangan Leleh Rata-Rata	Tegangan Ultimit Rata-Rata
	(mm)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)
5A	10X5	140	240	140	240

4.2 Campuran Beton

Selanjutnya Setelah dilakukan perhitungan *mix design* sesuai dengan SNI perencanaan campuran beton normal maka diperoleh perbandingan campuran masing-masing bahan yang akan digunakan sebagai berikut :

Semen : Pasir : Kerikil : Air = 1 : 2,3 : 3 : 0.7

4.3 Campuran Mortar

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian beberapa variasi mortar yang mengacu pada SNI 03-6285-2002 tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Mortar Semen. Berdasarkan hasil pengujian tersebut diperoleh bahwa perbandingan campuran dengan hasil kuat tekan yang paling sesuai dengan perencanaan ialah sebagai berikut :

Semen : Pasir : Air = 1 : 3,5 : 0,48

4.4 Uji Slump Beton

Pengujian slump atau *slump test* digunakan guna mengetahui kekentalan dari adukan beton yang telah dibuat. Uji slump dilakukan dengan mrnggunakan bantuan alat bernama “kerucut abrams”. FAS (Faktor Air Semen) yang direncanakan pada campuran beton penelitian kali ini adalah 0,6, dimana dibuat 2 benda uji silinder untuk satu kali

pengecoran kolom asli dan 1 benda uji silinder untuk pengecoran kolom kontrol, dimana dilakukan 3 kali pengecoran sehingga total benda uji silinder yang dibuat ialah 5 buah. Adapun hasil dari *slump test* yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

Tabel 4.6

Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Asli

NO	Kode Benda Uji	Slump (cm)
1	A5	11
2	A6	11
3	B5	12
4	B6	12

Tabel 4.7

Hasil Uji Slump Beton Silinder untuk Benda Uji Kolom Kontrol

NO	Kode Benda Uji	Slump (cm)
1	Kontrol	11

Pada penelitian kali ini campuran beton didesain dengan nilai slump antara 60-180 mm, sehingga campuran beton yang digunakan telah memenuhi syarat.

4.5 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Silinder

Benda uji silinder dibuat untuk sampel dari kolom asli dan kolom kontrol yang berjumlah 2 buah untuk kolom asli, dan 1 buah untuk kolom kontrol. Dimana hal ini dilakukan untuk mengetahui mutu beton (f'_c) dari benda uji kolom asli dan kolom kontrol. Benda uji silinder ini sendiri memiliki dimensi dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Untuk menghitung dari kuat tekan beton (f'_c) dari benda uji silinder yang telah dibuat, digunakan rumus :

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A}$$

Dimana :

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P_{max} = Beban maksimum (kN)

A = Luas tekan penampang (mm²)

Tabel 4.8

Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom asli)

NO	Kode Benda Uji	Umur	Slump	Berat	Beban Maksimum	Gaya Tekan	Gaya Tekan Rata-Rata
		(Hari)	(cm)	(kg)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
1	A5 -A6 (1)	28	11	12,30	382,3	21,63	17,95
2	A5 -A6 (2)		11	12,55	252,1	14,27	
3	B5 -B6 (1)		12	12,45	321,0	18,16	21,06
4	B5 -B6 (2)		12	12,50	423,3	23,95	

Tabel 4.9

Hasil uji kuat tekan benda uji silinder beton (sampel benda uji kolom kontrol)

NO	Kode Benda Uji	Umur	Slump	Berat	Beban Maksimum	Gaya Tekan	Gaya Tekan Rata-Rata
		(Hari)	(cm)	(kg)	(kN)	(Mpa)	(Mpa)
1	Kontrol	28	11	12,4	242,6	13,73	13,73

Berikut contoh perhitungan kuat tekan beton (Benda uji silinder beton A5 – A6 (1) sampel benda uji kolom asli):

Diketahui :

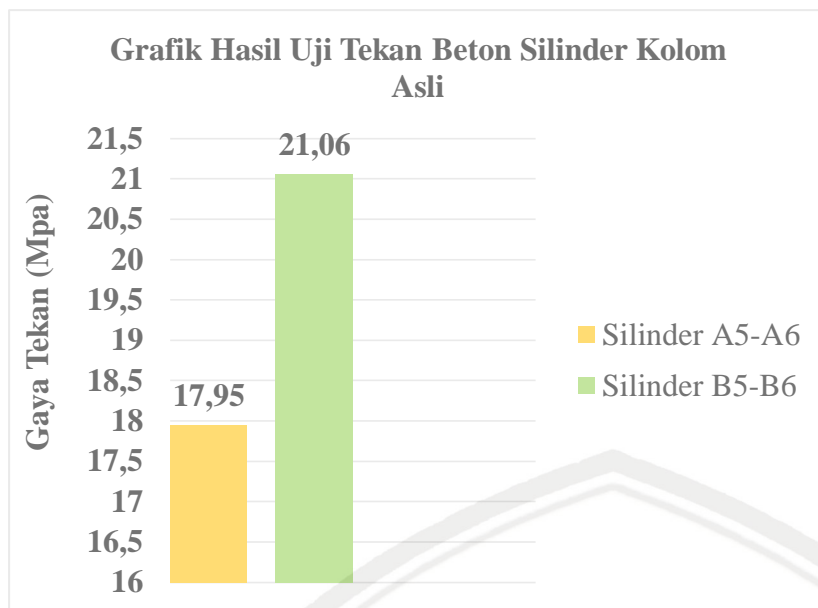
$$P_{max} = 382,3 \text{ kN} = 382300 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{4} \pi \times d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times 150^2 \\
 &= 17671.46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

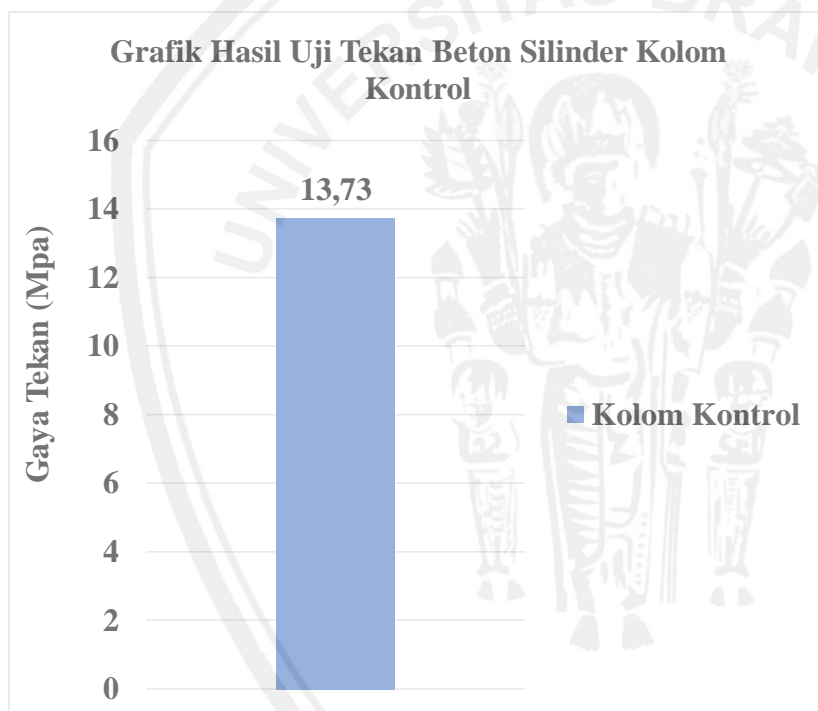
Ditanya : f'_c ?

Jawab :

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P_{max}}{A} \\
 &= \frac{382300}{17671.46} \\
 &= 21,63 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.1. Grafik hasil rata-rata uji tekan beton uji silinder kolom asli



Gambar 4.2. Grafik hasil rata-rata uji tekan beton uji silinder kolom kontrol

Dari hasil pengujian benda uji silinder yang telah dilakukan diperoleh nilai rata-rata yaitu untuk benda uji kolom asli memiliki kuat tekan sebesar 17,95 MPa untuk sampel A5 - A6 dan 21,06 MPa untuk sampel B5 - B6, dan untuk benda uji kolom kontrol memiliki kuat tekan sebesar 13,73 MPa. Sedangkan mutu beton dalam perencanaan *mix design* adalah 17,5 MPa. Hasil uji kuat tekan silinder kolom kontrol memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan kolom asli, hal ini dapat terjadi karena perbedaan waktu pengecoran antara kolom asli dan kolom kontrol sehingga kondisi lingkungan dan material yang

digunakan juga berbeda, namun hasil dari pengujian benda uji silinder menunjukkan bahwa kuat tekan beton yang dihasilkan tidak berbeda jauh dari perencanaan *mix design*.

4.6 Pengujian Kuat Tekan Benda Uji Mortar

Benda uji mortar digunakan sebagai acuan kuat tekan untuk sampel dari kolom retrofit yang berjumlah masing-masing 3 buah untuk setiap benda uji. Hal ini dilakukan untuk memperoleh mutu mortar (f'_c) dari lapisan benda uji kolom retrofit. Benda uji mortar ini berbentuk kubus dan memiliki dimensi 5 x 5 x 5 cm.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan mortar (f'_c) dari benda uji mortar yang telah dibuat, sebagai berikut :

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A}$$

Dimana :

f'_c = Kuat tekan beton (MPa)

P_{max} = Beban maksimum (kN)

A = Luas tekan penampang (mm²)

Tabel 4.10

Hasil uji kuat tekan benda uji mortar (sampel benda uji kolom retrofit)

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)	Gaya Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	A5 (1)	28	304,30	62,00	24,80	22,56
	A5 (2)		290,10	40,00	16,00	
	A5 (3)		331,60	67,20	26,88	
2	A6 (1)		285,10	68,50	27,40	32,33
	A6 (2)		276,30	74,00	29,60	
	A6 (3)		279,70	100,00	40,00	
3	B5 (1)		281,00	104,00	41,60	33,25
	B5 (2)		272,90	72,40	28,96	
	B5 (3)		292,00	73,00	29,20	
4	B6 (1)		272,90	58,60	23,44	26,19
	B6 (2)		281,40	70,20	28,08	
	B6 (3)		259,50	67,60	27,04	

Berikut contoh perhitungan kuat tekan mortar (Benda uji mortar A5 (1) sampel benda uji kolom retrofit):

Diketahui :

$$P_{max} = 62 \text{ kN} = 62000 \text{ N}$$

$$A = 5 \times 5 \text{ cm}$$

$$= 25 \text{ cm}^2$$

$$= 2500 \text{ mm}^2$$

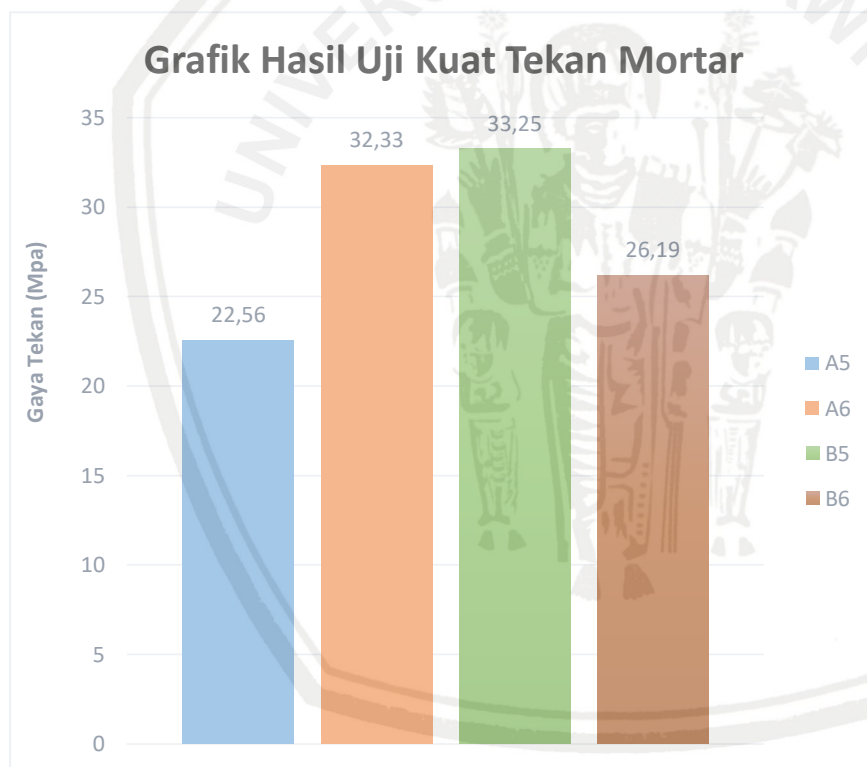
Ditanya : f'_c ?

Jawab :

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A}$$

$$= \frac{62000}{2500}$$

$$= 24,80 \text{ MPa}$$



Gambar 4.3. Grafik hasil uji kuat tekan mortar

4.7 Proses Perawatan (*curing*)

Proses perawatan atau *curing* benda uji silinder dan kolom ini dilakukan dengan diselimuti karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air selama 21 hari. Proses perawatan atau *curing* ini bertujuan untuk menghindari rangkak dan susut pada kolom. Kemudian dilakukan pengujian kuat tekan.

4.8 Pengujian Kuat Beban Aksial Kolom

Dalam penelitian ini, tidak dilakukan pengujian kuat tekan terhadap kolom asli, dikarenakan kolom asli dianggap memiliki kasus kolom lemah akibat perubahan fungsi bangunan sehingga digunakan *initial condition* pada kolom asli. Oleh karena itu, dalam penelitian ini kolom asli hanya memiliki Kekuatan Nominal Kolom (P_n) secara teoritis. Untuk kontrol kuat tekan kolom asli, digunakan kolom kontrol dengan dimensi yang sama dengan kolom asli serta dilakukan pengujian kuat beban aksial kolom kontrol atau kuat beban aksial aktual (P_u) yang nantinya hasilnya akan dibandingkan dengan kuat beban aksial kolom retrofit.

Pada penelitian ini dibuat sebanyak masing-masing 12 sampel baik itu kolom asli maupun kolom retrofit, dan dibuat 1 sampel untuk kolom kontrol. Kolom asli dan kolom kontrol memiliki dimensi 12 x 12 x 30 cm dan kolom retrofit memiliki dimensi 18 x 18 x 25 cm.

Berikut ini merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung kuat beban aksial kolom (P_n) :

Rumus kuat beban aksial kolom kontrol :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Rumus kuat beban aksial kolom retrofit (Modified Kent and Park) :

$$P_{n(max)} = f''_c \times A_g$$

$$f''_c = K f'_c$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c}$$

Dimana :

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

A_g = luas penampang bruto beton (mm²)

A_{st} = luas tulangan (mm²)

f'_c = Tegangan Maksimum Beton (MPa)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)

f_{yh} = tegangan leleh dari tulangan transversal (MPa)

ρ_s = Rasio tulangan trasversal

Tabel 4.11

Hasil kuat beban aksial kolom asli

NO	Kode Benda Uji	Umur	Slump	Berat Kolom	Gaya Tekan Beton (fc')	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Teoritis
		(Hari)	(cm)	(kg)	(Mpa)	(kN)
1	A5 (1)			10,95		
2	A5 A5 (2)		11	11,00	17,95	248,01
3	A5 (3)			10,95		
4	A6 A6 (1)		11	11,00	17,95	248,01
5	A6 A6 (2)			10,85		
6	B5 (1)	28		10,90		
7	B5 B5 (2)		12	10,65	21,06	285,86
8	B5 (3)			10,70		
9	B6 (1)			10,80		
10	B6 B6 (2)		12	10,75	21,06	285,86
11	B6 (3)			10,70		

Tabel 4.12

Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom asli

NO	Kode Benda Uji Kolom Asli	Gaya Tekan Beton (fc')	Kekuatan Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis
		(Mpa)	kN
1	A5	17,95	248,01
2	A6	17,95	248,01
3	B5	21,06	285,86
4	B6	21,06	285,86

Tabel 4.13

Hasil kuat beban aksial kolom kontrol

NO	Kode Benda Uji	Umur	Slump	Berat Kolom Kontrol	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Tekan Kolom Asli Maksimum Teoritis	Kekuatan Maksimum Kolom (Pu) Secara Aktual
		(Hari)	(cm)	(kg)	(Mpa)	(kN)	(kN)
1	Kontrol	28	11	10,75	13,73	196,62	270,20

Berikut contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom asli (Pn max) (Kolom A5) :

Diketahui :

$$f'_c = 17,95 \text{ MPa}$$

$$A_g = 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \times \pi \times (10 \text{ mm})^2 = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 375,61 \text{ MPa}$$

Ditanya : P_n (max) ?

Jawab :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

$$P_{n(max)} = 0.85 \times 17,95 (14400 - 78.54) + 375,61 \times 78.54$$

$$P_{n(max)} = 248010 \text{ N} = 248,01 \text{ kN}$$

Tabel 4.14

Hasil kuat beban aksial kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Berat Kolom	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Tekan Kolom Retrofit Maksimum Teoritis	Kuat Tekan Kolom Retrofit Maksimum Aktual	Rata-Rata Kuat Tekan Maksimum Aktual
			(kg)	(Mpa)	(kN)	(kN)	
1	A5 (1)	28	20,65	22,56	419,314	436,73	437,05
2	A5 (2)		20,75			431,20	
3	A5 (3)		20,70			443,94	
4	A6 (1)		20,70	32,33	472,678	422,11	431,94
5	A6 (2)		20,60			442,72	
6	B5 (1)		20,35			406,91	
7	B5 (2)		20,10	33,25	539,070	383,30	393,21
8	B5 (3)		20,35			393,86	
9	B6 (1)		20,20			415,57	
10	B6 (2)		20,40	26,19	455,359	391,60	401,20
11	B6 (3)		20,30			419,00	

Tabel 4.15

Hasil kuat beban aksial rata-rata kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom Retrofit	Gaya Tekan Beton (f'_c)	Kekuatan Nominal Kolom (P_n) Secara Teoritis	Kekuatan Maksimum Kolom (P_u) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	A5	22,56	419,313	437,05
2	A6	32,33	472,678	431,94
3	B5	33,25	539,070	393,21
4	B6	26,19	455,359	401,20

Pada tabel hasil kuat beban aksial rata-rata kolom retrofit didapatkan dari rata – rata data kuat beban aksial per sampel kolom retrofit dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom retrofit harus senilai.

Berikut ini adalah contoh perhitungan kuat beban aksial nominal kolom (P_n max) retrofit (Kolom A5):

Diket :

$$f'_c \text{ kolom asli} = 17,95 \text{ MPa}$$

$$f'_c \text{ kolom retrofit} = 22,56 \text{ MPa}$$

$$f_{yh} \text{ baja} = 506,94 \text{ MPa}$$

$$f_{yh} \text{ bambu} = 140 \text{ MPa}$$

$$A_g \text{ kolom asli} = 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_g \text{ kolom retrofit} = 180 \text{ mm} \times 180 \text{ mm} = 32400 \text{ mm}^2$$

$$A \text{ sengkang bambu} = 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 100 \text{ mm}^2$$

$$A \text{ bambu} = 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 100 \text{ mm}^2$$

$$\rho_s \text{ baja} = 0,0071$$

$$\rho_s \text{ bambu} = 0,0765$$

Dit : P_n (max) ?

Jawab :

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c}$$

$$K = 1 + \frac{\left(\left[\frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c} \right]_{baja} + \left[\frac{\rho_s f_{yh}}{f'_c} \right]_{bambu} \right)}{2}$$

$$K = 1 + \frac{\left(\left[\frac{0,0071 \times 506,94}{17,95} \right]_{baja} + \left[\frac{0,0765 \times 140}{22,56} \right]_{bambu} \right)}{2}$$

$$K = 1,4376$$

$$f''_c = K \frac{(f'_c \text{ kolom asli} + f'_c \text{ kolom retrofit})}{2}$$

$$f''_c = 1,4376 \times \frac{17,95 + 22,56}{2}$$

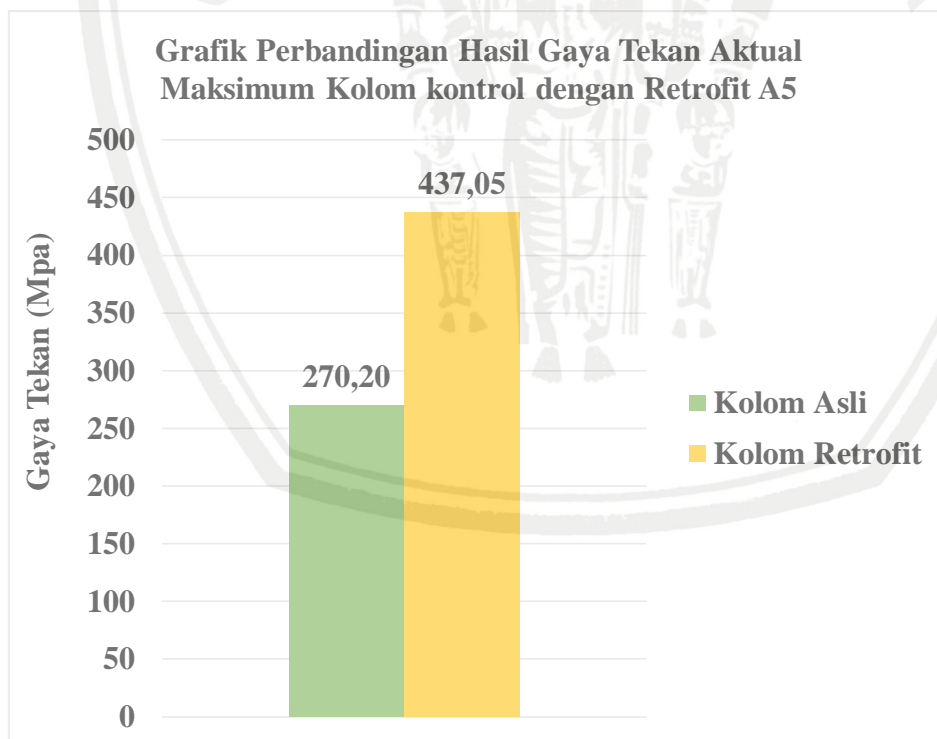
$$f''_c = 29,119 \text{ MPa}$$

$$P_{n(max)} = f''_c \times Ag$$

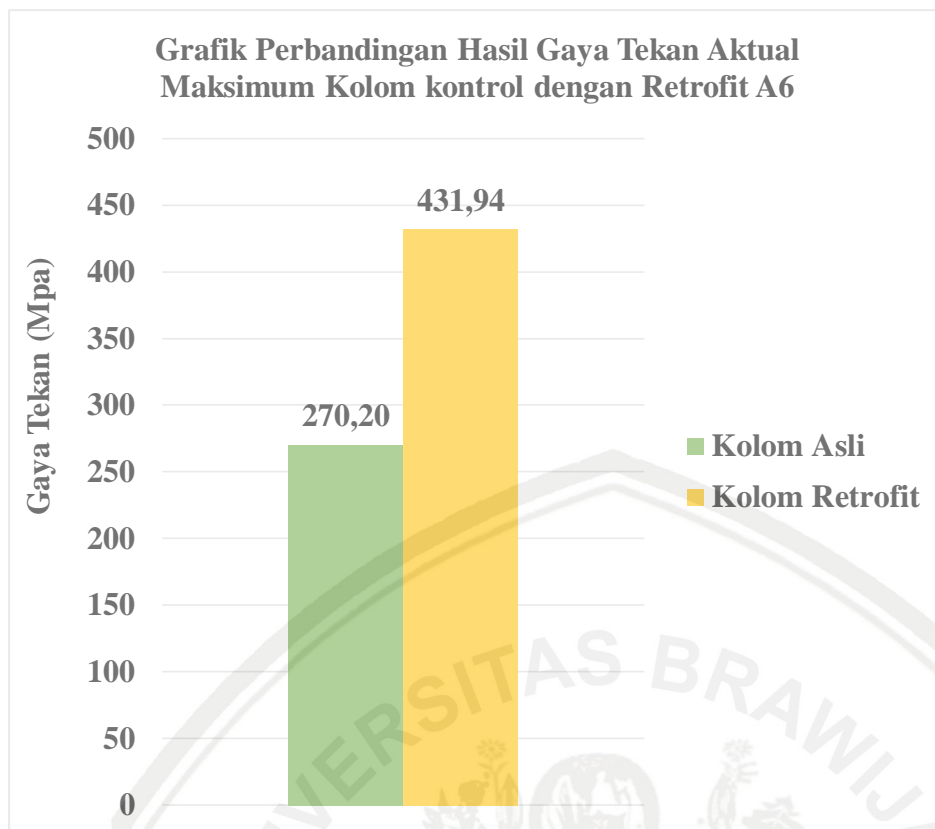
$$P_{n(max)} = 29,119 \text{ MPa} \times 14400 \text{ mm}^2$$

$$P_{n(max)} = 419313,5165 \text{ N}$$

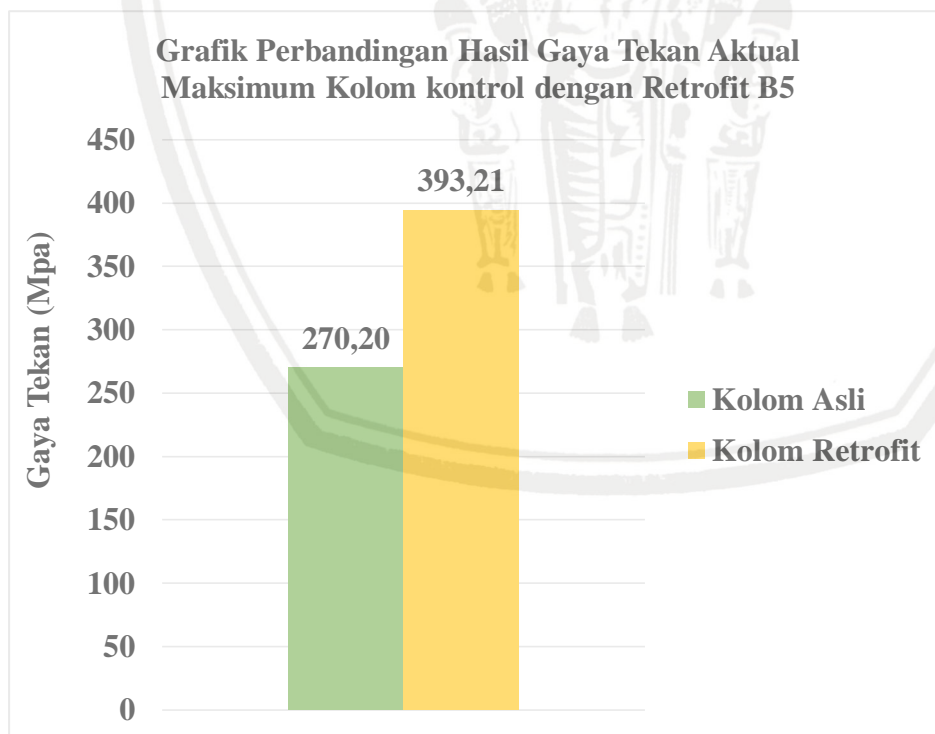
$$P_{n(max)} = 419,313$$



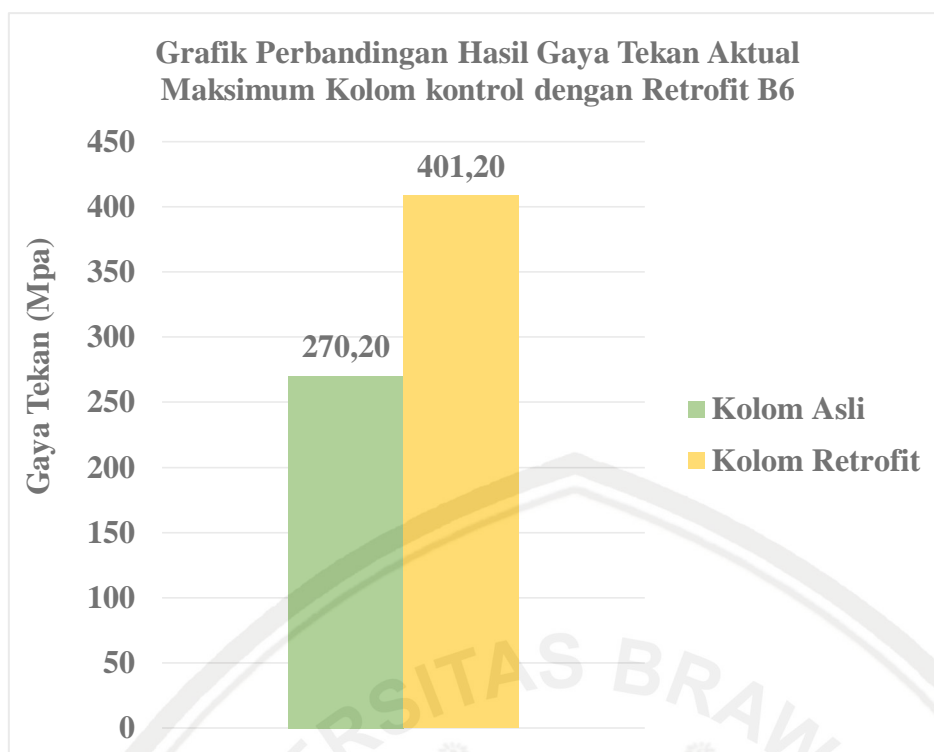
Gambar 4.4. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom kontrol dengan kolom retrofit A5



Gambar 4.5. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom kontrol dengan kolom retrofit A6



Gambar 4.6. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom kontrol dengan kolom retrofit B5



Gambar 4.7. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom kontrol dengan kolom retrofit B6

Dari penelitian yang telah dilakukan pada kuat beban aksial kolom asli dengan kolom retrofit didapatkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom asli yang dinyatakan dengan menggunakan kuat beban aksial maksimum kolom kontrol yaitu sebesar 270,2 kN. Sedangkan hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit A5 ialah 437,29 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan kuat beban aksial maksimum kolom retrofit A5 sebesar 61,75% dari kuat beban aksial maksimum kolom kontrol. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit A6 sebesar 432,60 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit A6 sebesar 59,86% dari kuat beban aksial maksimum kolom kontrol. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit B5 diperoleh sebesar 394,69 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit B5 sebesar 45,52% dari kuat beban aksial maksimum kolom kontrol. Untuk hasil kuat beban aksial maksimum pada kolom retrofit B6 sebesar 408,72 kN, jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada kuat beban aksial kolom retrofit B6 sebesar 48,48% dari kuat beban aksial maksimum kolom kontrol.

4.9 Pembahasan

4.9.1 Hubungan Gaya Tekan dan Defleksi Kolom Kontrol dengan Kolom Retrofit

Hasil gaya tekan dan defleksi yang didapatkan dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit bisa ditindak lanjuti untuk mengetahui nilai kekakuan dari suatu benda uji. Nilai kekakuan adalah nilai kemiringan dari suatu hubungan antara beban dan defleksi. Dimana nilai kekakuan ini dapat dijadikan sebuah parameter agar sebuah struktur tidak mengalami deformasi yang berlebihan.

Berikut rumus untuk mencari nilai kekakuan :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

Untuk analisis mencari nilai kekakuan kolom asli dan kolom retrofit menggunakan metode yang diterapkan oleh Park (1988) yakni, untuk nilai gaya tekan beton bertulang diambil dari 75% dari nilai gaya tekan maksimum dan nilai defleksi diambil pada saat 75% dari nilai gaya tekan maksimum tersebut.

Tabel 4.16

Tabel data gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit
1	A5(1)		436,73		327,55		1,47		222,81
2	A5 A5(2)		431,20		323,40		1,80		179,92
3	A5(3)		443,94		332,96		1,61		206,57
4	A6 A6(1)	270,20	422,11	202,62	316,58	1,30	2,04	156,07	155,06
5	A6 A6(2)		442,72		332,04		1,86		178,90
7	B5(1)		406,91		305,18		2,01		152,17
8	B5 B5(2)		383,30		287,48		1,39		207,22
9	B5(3)		393,86		295,39		1,75		168,99

10	B6(1)	415,57	311,68	1,83	169,89
11	B6 B6(2)	391,60	293,70	1,24	237,40
12	B6(3)	419,00	314,25	2,08	151,35

Tabel 4.17

Tabel data rata –rata gaya tekan dan defleksi hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Defleksi (mm)		Kekakuan (kN/mm)	
		Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit
1	A5		437,05		327,79		1,61		204,09
2	A6	270,20	431,94	202,62	323,96	1,30	1,84	156,07	175,64
3	B5		393,21		294,91		1,69		174,72
4	B6		401,20		300,90		1,71		175,99

Tabel hasil rata – rata kekakuan hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit didapatkan dari data gaya tekan sampel kolom kontrol dan rata-rata data gaya tekan kolom retrofit, tidak diperoleh dari rata-rata aljabar dari setiap sampel. Karena nilai defleksi pada saat beban maksimum masing-masing kolom berbeda.

Contoh perhitungan kekakuan kolom (k) (Kolom A5) :

Diketahui :

$$P_{\max} = 437,05 \text{ kN}$$

$$75\% P_{\max} = 75 \% \times 437,05 = 327,79 \text{ kN}$$

$$\Delta 75\% P_{\max} = \frac{((1,7-1,6)(327,79-327,00))+(1,6 \times (339,99-327,00))}{339,99-327,00} = 1,61 \text{ mm}$$

$$\Delta 75\% P_{\max} = 1,61 \text{ mm}$$

Ditanya : k ?

Jawab :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

$$k = \frac{437,05 \text{ kN}}{1,61 \text{ mm}}$$

$$k = 204,09 \text{ kN/mm}$$

4.9.1.1 Kolom kontrol

Tabel 4.18

Tabel gaya tekan dan defleksi kolom kontrol

Defleksi	Kolom Kontrol
	Gaya Tekan
mm	kN
0	0,00
0,1	25,58
0,2	49,63
0,3	72,30
0,4	94,47
0,5	116,92
0,6	138,89
0,7	158,29
0,8	179,96
0,9	200,03
1	222,85
1,1	245,45
1,2	268,90
1,3	290,50
1,4	313,40
1,5	333,59
1,6	345,47
1,7	358,42
1,8	371,09
1,9	382,86
2	393,50
2,1	400,75
2,2	408,37
2,3	416,29
2,4	419,98
2,5	424,48
2,6	428,37
2,7	430,29
2,8	431,63
2,9	433,26
3	435,00
3,1	436,00
3,2	436,50
3,3	436,73
3,4	436,12
3,5	434,98

Defleksi	Kolom Kontrol Gaya Tekan
mm	kN
3,6	434,10
3,7	433,33
3,8	430,97
3,9	427,99
4	425,09
4,1	423,00
4,2	420,67
4,3	418,17
4,4	416,02
4,5	411,65
4,6	407,97
4,7	404,95
4,8	400,59
4,9	397,59
5	394,58
5,1	390,51
5,2	387,21
5,3	383,85
5,4	380,23
5,5	375,57
5,6	370,00
5,7	364,81
5,8	361,18
5,9	357,13
6	353,48
6,1	350,13
6,2	346,43
6,3	342,61
6,4	339,13
6,5	336,34
6,6	332,40
6,7	329,02
6,8	325,91
6,9	321,98
7	318,25
7,1	314,26
7,2	309,48
7,3	305,21
7,4	301,26
7,5	297,67
7,6	295,11

Defleksi	Kolom Kontrol Gaya Tekan
mm	kN
7,7	292,25
7,8	289,05
7,9	285,99
8	283,35
8,1	280,54
8,2	277,36
8,3	274,12
8,4	271,05
8,5	268,19
8,6	266,04
8,7	264,22
8,8	262,54
8,9	260,85
9	258,23
9,1	255,61
9,2	253,08
9,3	248,73
9,4	246,14
9,5	244,21
9,6	241,56
9,7	239,11
9,8	235,11
9,9	229,77
10	229,15
10,1	227,36
10,2	224,44
10,3	220,16
10,4	217,64

4.9.1.2 Kolom kontrol – Kolom retrofit A5

Tabel 4.19

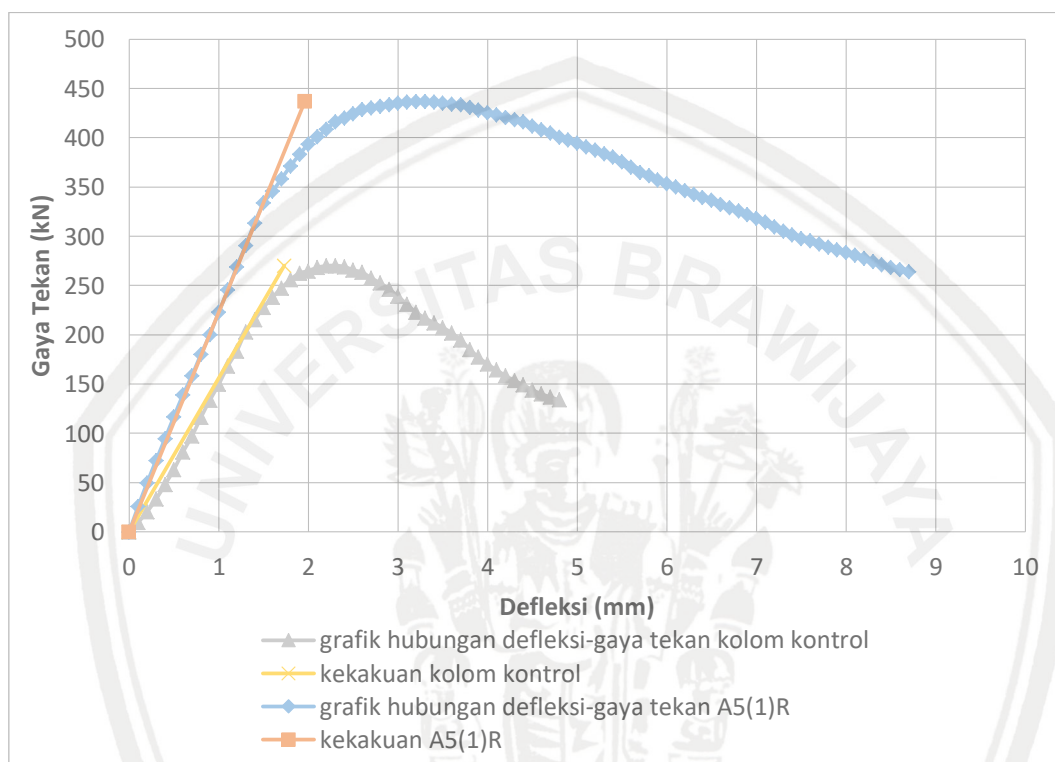
Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit A5

Defleksi	A5(1)	A5(2)	A5(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1	25,58	17,33	27,46	23,46
0,2	49,63	34,59	53,89	46,04

Defleksi	A5(1)	A5(2)	A5(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
0,3	72,30	52,63	75,69	66,87
0,4	94,47	71,31	98,73	88,17
0,5	116,92	88,22	125,04	110,06
0,6	138,89	103,83	148,88	130,53
0,7	158,29	122,53	173,03	151,28
0,8	179,96	140,94	202,50	174,47
0,9	200,03	160,70	221,13	193,95
1	222,85	182,16	237,68	214,23
1,1	245,45	204,90	256,70	235,68
1,2	268,90	228,17	276,47	257,85
1,3	290,50	250,98	289,71	277,06
1,4	313,40	269,24	303,49	295,37
1,5	333,59	291,51	317,24	314,11
1,6	345,47	304,76	330,77	327,00
1,7	358,42	312,28	349,28	339,99
1,8	371,09	323,69	362,86	352,54
1,9	382,86	337,80	372,21	364,29
2	393,50	354,41	382,56	376,83
2,1	400,75	377,10	393,14	390,33
2,2	408,37	391,00	401,54	400,30
2,3	416,29	396,85	411,81	408,32
2,4	419,98	404,10	421,66	415,25
2,5	424,48	410,50	427,96	420,98
2,6	428,37	416,39	431,07	425,28
2,7	430,29	421,55	434,07	428,64
2,8	431,63	425,00	437,51	431,38
2,9	433,26	427,93	441,69	434,29
3	435,00	430,30	443,47	436,26
3,1	436,00	431,20	443,94	437,05
3,2	436,50	430,87	443,77	437,05
3,3	436,73	428,96	443,46	436,38
3,4	436,12	426,64	443,08	435,28
3,5	434,98	424,62	442,42	434,01
3,6	434,10	421,40	440,47	431,99
3,7	433,33	418,30	437,73	429,79
3,8	430,97	415,31	435,50	427,26
3,9	427,99	412,02	433,96	424,66
4	425,09	409,48	430,38	421,65
4,1	423,00	407,90	425,75	418,88
4,2	420,67	404,57	420,88	415,38

Defleksi	A5(1)	A5(2)	A5(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
4,3	418,17	401,32	416,08	411,86
4,4	416,02	398,35	412,58	408,98
4,5	411,65	392,12	407,98	403,92
4,6	407,97	389,56	402,61	400,04
4,7	404,95	385,60	399,15	396,56
4,8	400,59	380,77	395,67	392,34
4,9	397,59	376,10	391,64	388,44
5	394,58	372,25	387,16	384,66
5,1	390,51	368,63	382,34	380,49
5,2	387,21	365,15	378,36	376,91
5,3	383,85	361,77	374,38	373,33
5,4	380,23	358,86	369,84	369,64
5,5	375,57	355,77	366,73	366,02
5,6	370,00	351,94	363,88	361,94
5,7	364,81	345,64	360,75	357,07
5,8	361,18	340,99	356,89	353,02
5,9	357,13	337,39	354,01	349,51
6	353,48	334,66	350,45	346,20
6,1	350,13	332,36	346,59	343,03
6,2	346,43	330,36	345,21	340,67
6,3	342,61	328,28	342,16	337,68
6,4	339,13	325,90	338,38	334,47
6,5	336,34	322,94	334,59	331,29
6,6	332,40	320,81	332,50	328,57
6,7	329,02	319,10	329,61	325,91
6,8	325,91	317,67	326,67	323,42
6,9	321,98	314,79	325,33	320,70
7	318,25	312,62	321,60	317,49
7,1	314,26	310,40	318,97	314,54
7,2	309,48	306,40	317,38	311,09
7,3	305,21	302,34	313,93	307,16
7,4	301,26	296,95	312,54	303,58
7,5	297,67	289,58	311,05	299,43
7,6	295,11	285,93	307,76	296,27
7,7	292,25	282,68	306,79	293,91
7,8	289,05	277,81	304,48	290,44
7,9	285,99	273,81	301,37	287,06
8	283,35	267,21	300,47	283,68
8,1	280,54	248,26	297,92	275,58
8,2	277,36	229,32	295,40	267,36
8,3	274,12	215,03	294,26	261,14

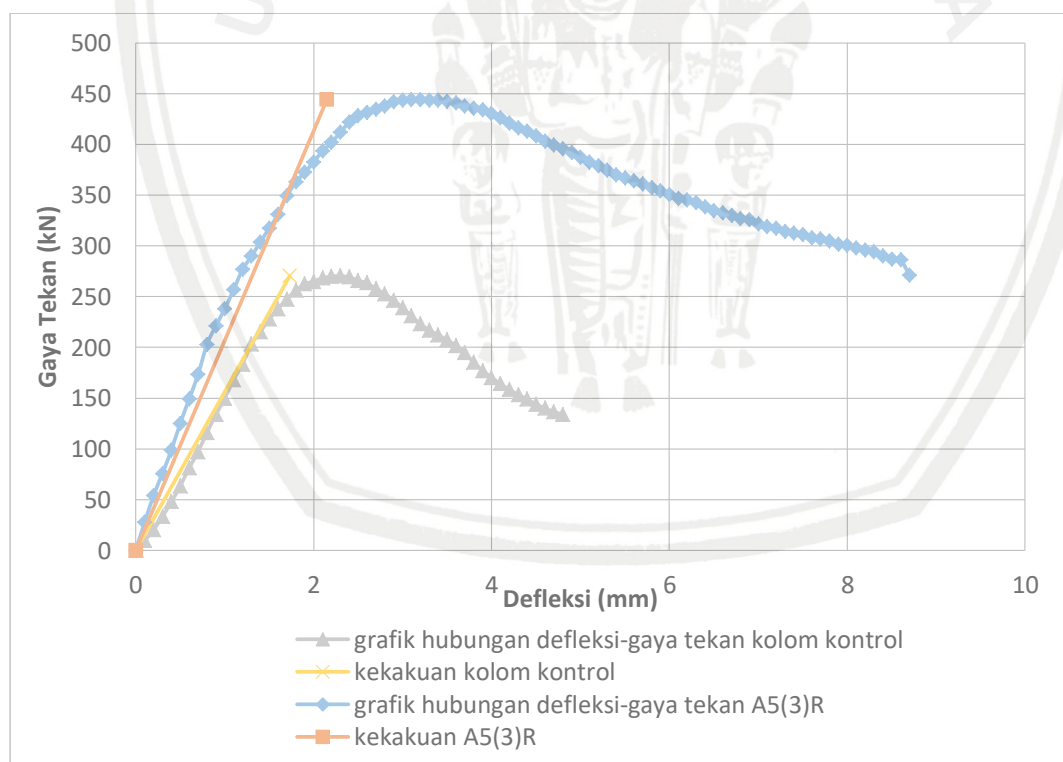
Defleksi	A5(1)	A5(2)	A5(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN	kN
8,4	271,05	209,41	289,61	256,69
8,5	268,19	204,94	286,78	253,31
8,6	266,04	203,50	285,94	251,83
8,7	264,22	192,70	270,95	242,62



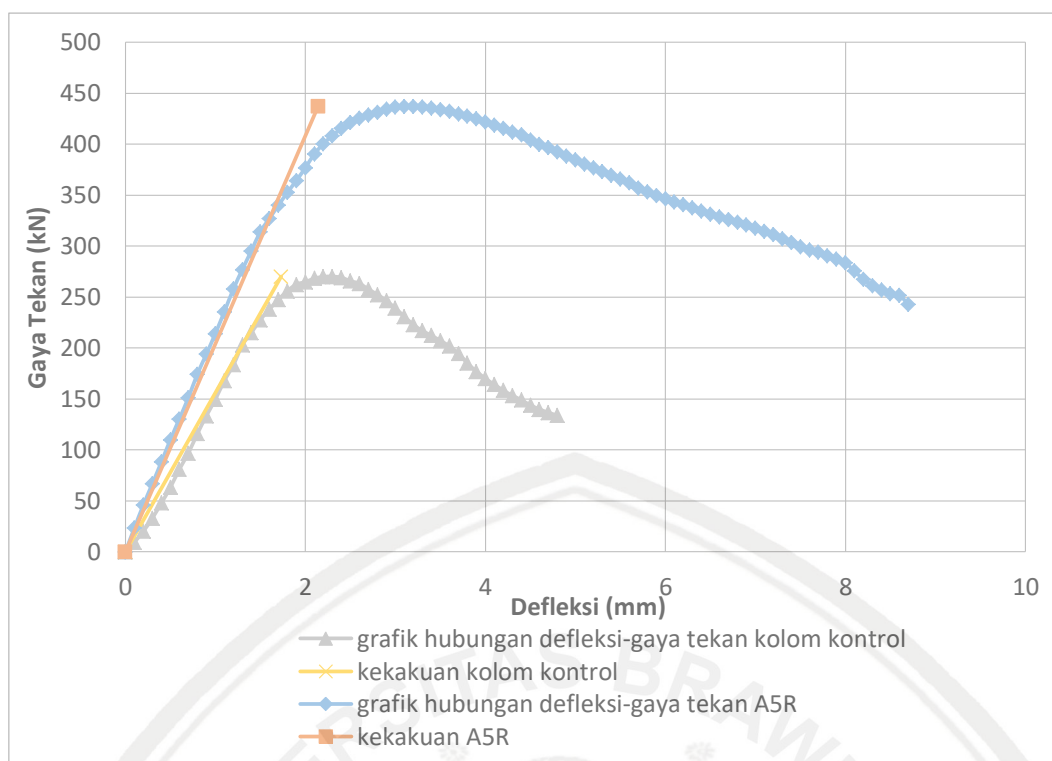
Gambar 4.8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(1)



Gambar 4.9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(2)



Gambar 4.10. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(3)



Gambar 4.11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A5

Data gaya tekan dan defleksi dari kolom kontrol dan kolom retrofit A5 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dan kolom retrofit A5(1), A5(2) dan A5(3). Dimana penentuan nilai rata-rata gabungan didapatkan dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Dapat disimpulkan, pada kolom retrofit A5 terjadi peningkatan batas runtuh kolom kontrol dari kolom asli dengan beban maksimum yang semula sebesar 270,2 kN. Namun beban maksimum kolom retrofit A5 memiliki beban puncak sebesar 437,05 kN, atau bila dipresentasikan meningkat sebesar 61,75%.

Berdasarkan analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah diuraikan sebelumnya. Bahwa kolom kontrol memiliki nilai kekakuan sebesar 156,07 kN/mm, dan kolom retrofit A5 memiliki nilai kekakuan 204,09 kN/mm. oleh karena itu, hal ini menunjukkan bahwa kolom retrofit A5 memiliki kekakuan yang lebih tinggi sebesar 30,77% dibandingkan dengan kekakuan dari kolom kontrol.

Berdasarkan pengamatan pada grafik kekakuan yang ditunjukkan dalam Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A5, diperoleh bahwa kemiringan grafik pada kondisi elastis benda uji menunjukkan bahwa

kolom retrofit A5 memiliki tingkat kemiringan yang lebih besar dibandingkan dengan kolom kontrol, hal ini menunjukkan bahwa kekakuan yang dimiliki oleh kolom retrofit A5 juga semakin besar.

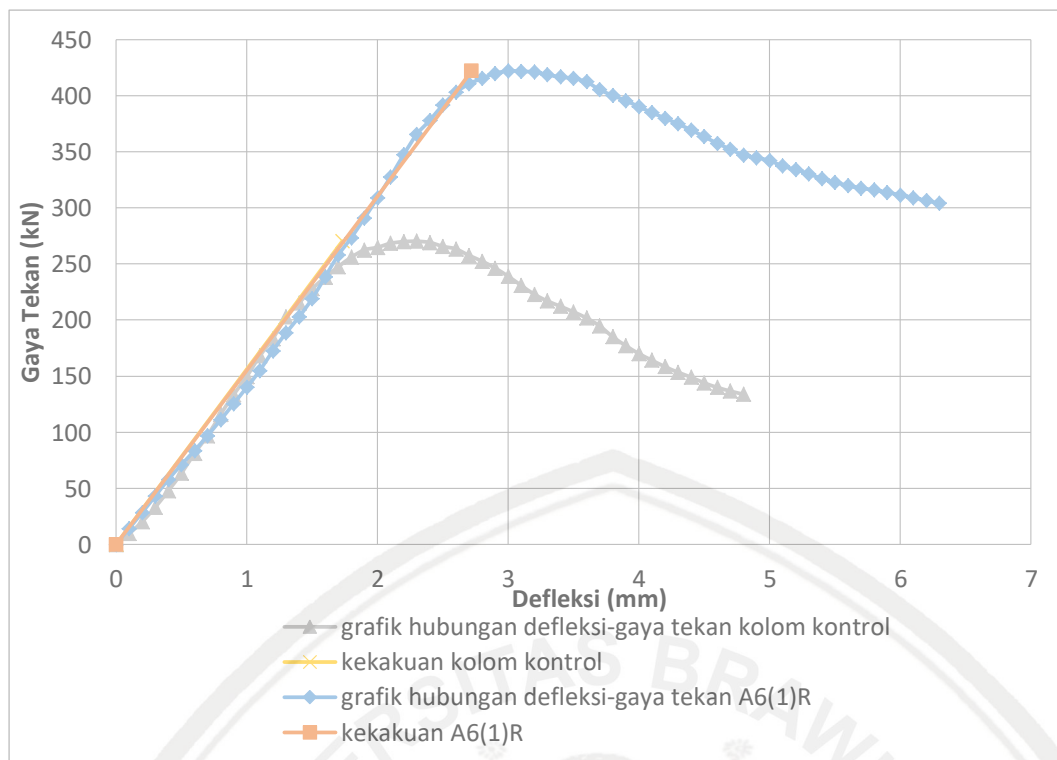
4.9.1.3 Kolom kontrol – Kolom Retrofit A6

Tabel 4.20

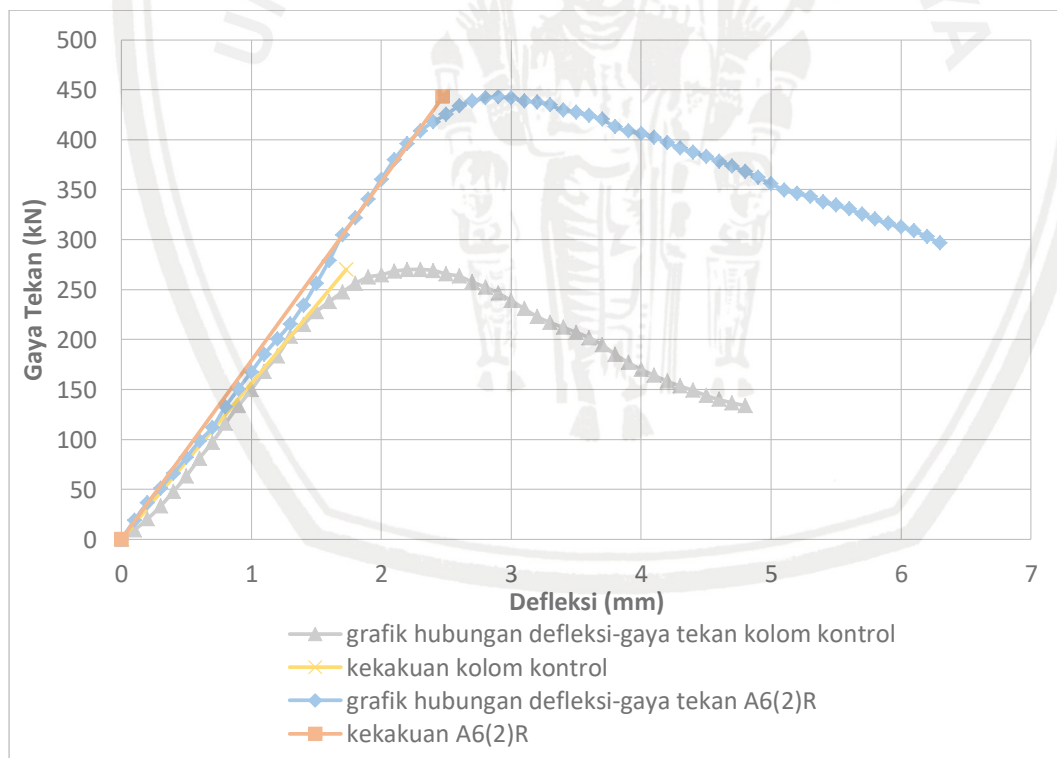
Tabel gaya tekan dan defleksi kolom A6

Defleksi	A6(1)	A6(2)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
Mm	kN	kN	kN
0	0,00	0,00	0,00
0,1	14,14	19,19	23,41
0,2	28,49	36,59	40,12
0,3	43,07	51,26	55,63
0,4	57,94	66,20	70,81
0,5	71,04	81,88	85,90
0,6	83,63	98,30	100,51
0,7	96,94	111,84	114,09
0,8	111,02	132,70	130,15
0,9	125,41	150,40	145,68
1	140,00	167,63	162,09
1,1	155,00	185,24	178,37
1,2	172,59	200,44	195,26
1,3	188,37	215,45	210,65
1,4	202,68	234,28	228,25
1,5	218,95	256,28	246,96
1,6	238,40	279,10	268,61
1,7	257,79	304,80	294,32
1,8	273,38	321,70	311,33
1,9	290,71	340,18	331,90
2	308,81	360,37	350,09
2,1	327,47	380,09	368,17
2,2	347,23	396,13	383,82
2,3	365,35	408,62	397,76
2,4	377,85	417,94	407,10
2,5	391,62	425,11	415,25
2,6	402,87	434,03	422,91
2,7	410,32	438,70	427,21
2,8	415,38	441,62	429,99
2,9	419,61	442,72	431,63
3	422,11	441,77	431,17
3,1	421,53	438,47	428,59

Defleksi	A6(1)	A6(2)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
mm	kN	kN	kN
3,2	420,95	437,64	426,84
3,3	418,55	434,64	422,50
3,4	416,57	429,33	418,27
3,5	415,26	427,19	415,48
3,6	412,23	424,41	411,78
3,7	405,19	420,26	406,57
3,8	400,10	412,88	400,58
3,9	395,46	408,57	395,78
4	390,08	405,90	392,06
4,1	384,75	402,22	386,51
4,2	379,83	397,04	380,85
4,3	374,73	391,65	375,47
4,4	369,30	387,40	370,53
4,5	363,35	383,04	365,19
4,6	357,45	378,50	359,49
4,7	352,19	373,50	352,89
4,8	347,04	368,14	345,97
4,9	344,55	362,35	340,17
5	342,10	355,96	335,25
5,1	337,10	349,63	327,48
5,2	334,14	345,99	321,00
5,3	330,22	343,20	318,03
5,4	326,04	337,60	312,51
5,5	322,61	334,24	306,99
5,6	319,85	330,50	301,86
5,7	317,57	325,40	296,23
5,8	315,70	320,44	290,93
5,9	313,70	316,25	287,20
6	311,41	312,39	284,31
6,1	308,96	308,73	281,21
6,2	306,38	302,81	274,61
6,3	303,89	296,34	269,89



Gambar 4.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A6(1)



Gambar 4.13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A6(2)



Gambar 4.14. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A6

Berdasarkan uraian hasil di atas diperoleh data gaya tekan dan defleksi pada kolom kontrol dan kolom retrofit A6 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dan kolom retrofit A6(1), A6(2). Dimana penentuan nilai rata-rata gabungan didapatkan dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Maka dapat disimpulkan, pada kolom retrofit A6 terjadi peningkatan batas runtuh dari kolom kontrol dengan beban maksimum yang semula sebesar 270,2 kN. Namun beban maksimum kolom retrofit A6 memiliki beban puncak sebesar 431,94 kN, atau bila dipresentasikan meningkat sebesar 59,86%.

Berdasarkan analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah diuraikan sebelumnya. Bahwa kolom kontrol memiliki nilai kekakuan sebesar 156,07 kN/mm, dan kolom retrofit A6 memiliki nilai kekakuan 175,64 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom retrofit A6 lebih kaku jika dibandingkan dengan kolom kontrol, dimana kenaikan kekakuannya sebesar 12,53%.

Selanjutnya, berdasarkan pengamatan pada grafik kekakuan yang ditunjukkan dalam Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A6, diperoleh bahwa kemiringan grafik pada kondisi elastis benda uji menunjukkan bahwa kolom retrofit A6 memiliki tingkat kemiringan yang sama dengan kolom kontrol,

hal ini menunjukkan bahwa kekakuan yang dimiliki oleh kolom retrofit A6 hampir serupa dengan kolom kontrol.

4.9.1.4 Kolom kontrol – Kolom Retrofit B5

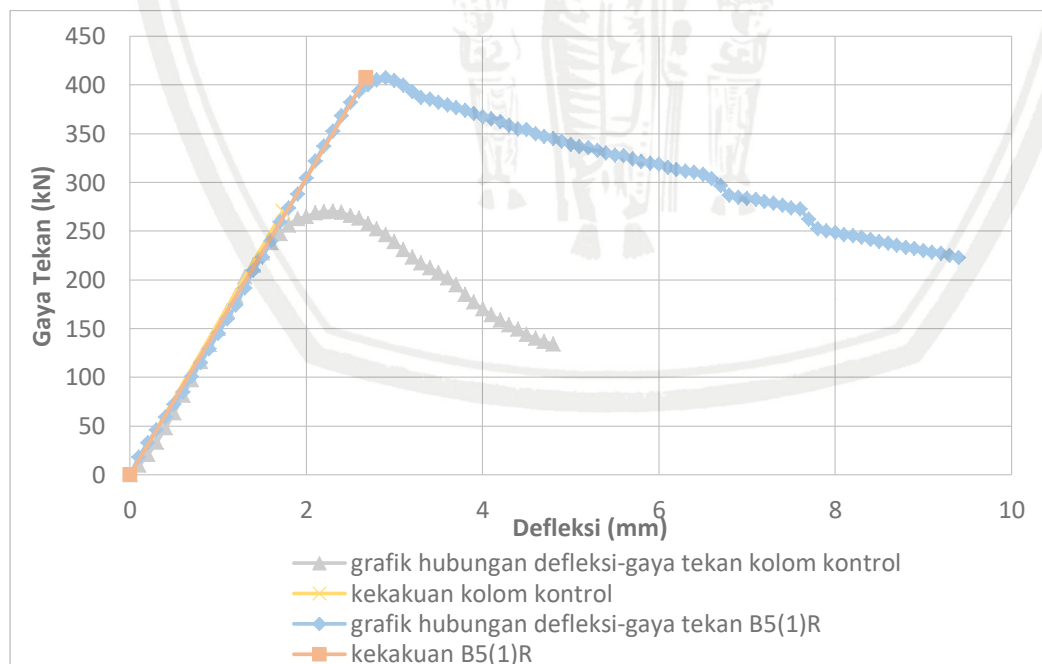
Tabel 4.21

Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit B5

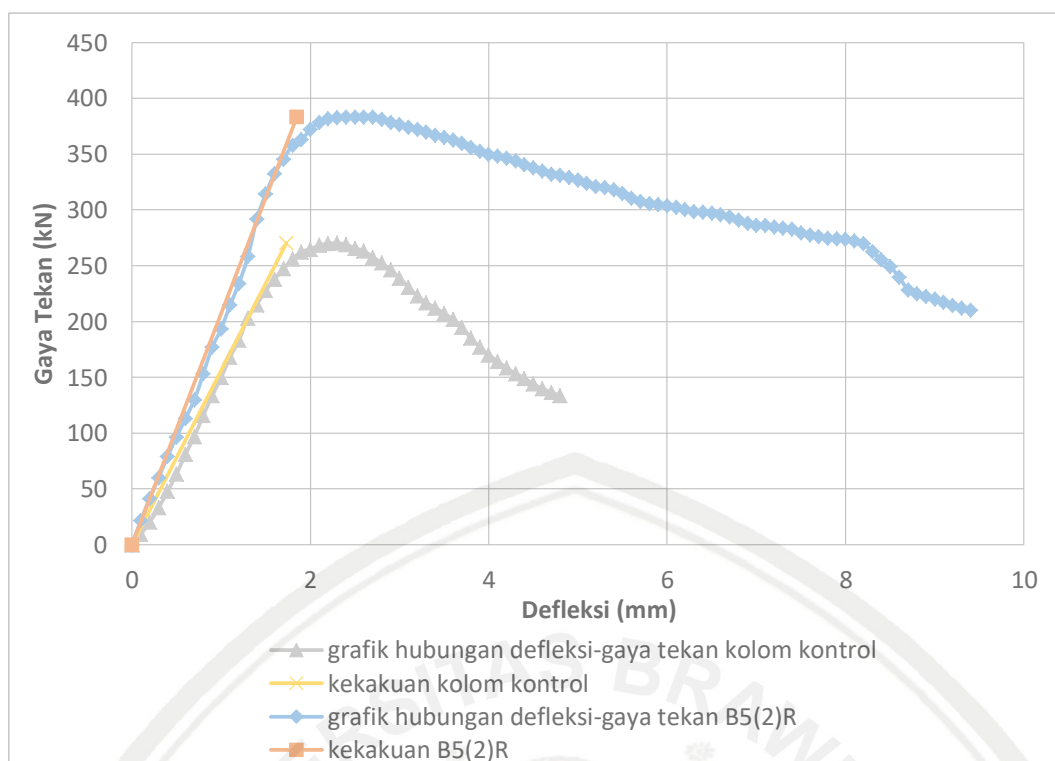
Defleksi	B5(1)	B5(2)	B5(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
Mm	kN	kN	kN	kN
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1	17,83	21,76	14,83	18,14
0,2	32,73	41,53	26,43	33,56
0,3	46,00	60,08	38,35	48,14
0,4	58,83	79,33	53,04	63,73
0,5	71,89	96,51	69,18	79,20
0,6	84,80	113,24	84,24	94,10
0,7	100,72	129,86	100,15	110,24
0,8	114,82	153,26	115,25	127,78
0,9	129,21	176,93	129,68	145,27
1	144,69	193,33	143,64	160,55
1,1	159,60	214,73	158,31	177,55
1,2	173,60	234,16	179,14	195,63
1,3	191,61	258,18	201,77	217,19
1,4	209,70	291,74	224,52	241,99
1,5	223,24	314,35	247,19	261,59
1,6	239,77	332,62	269,29	280,56
1,7	259,46	345,50	285,70	296,89
1,8	273,60	357,99	305,89	312,49
1,9	287,74	362,90	323,50	324,71
2	304,22	371,90	345,86	340,66
2,1	321,58	378,51	361,18	353,76
2,2	337,25	381,53	372,82	363,87
2,3	352,60	382,54	381,94	372,36
2,4	368,21	382,92	386,32	379,15
2,5	381,73	383,21	389,69	384,88
2,6	393,33	383,29	392,99	389,87
2,7	400,14	383,30	393,86	392,43
2,8	404,90	381,22	393,50	393,21
2,9	406,91	378,47	393,11	392,83
3	404,32	376,37	391,64	390,78
3,1	399,16	374,06	388,66	387,30
3,2	392,94	372,12	384,97	383,34

Defleksi	B5(1)	B5(2)	B5(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
	Mm	kN	kN	kN
3,3	386,98	369,68	383,73	380,13
3,4	385,34	366,90	380,90	377,71
3,5	381,65	364,90	376,82	374,46
3,6	379,10	362,74	373,93	371,92
3,7	376,30	359,60	371,55	369,15
3,8	373,62	356,00	368,44	366,02
3,9	370,47	352,40	364,55	362,47
4	367,19	349,73	360,87	359,26
4,1	364,84	348,25	357,22	356,77
4,2	362,22	346,43	353,81	354,15
4,3	358,31	343,79	350,49	350,87
4,4	354,78	340,72	346,42	347,30
4,5	353,71	337,58	343,29	344,86
4,6	349,71	334,64	339,46	341,27
4,7	346,90	332,09	334,10	337,70
4,8	344,71	331,02	332,40	336,04
4,9	342,06	329,20	329,45	333,57
5	338,46	326,74	325,78	330,32
5,1	336,31	323,83	321,99	327,38
5,2	335,51	321,14	319,55	325,40
5,3	332,66	319,80	315,83	322,76
5,4	329,81	318,15	311,36	319,77
5,5	327,82	314,79	307,73	316,78
5,6	326,89	310,58	305,06	314,18
5,7	323,78	307,57	303,17	311,51
5,8	321,06	305,49	302,10	309,55
5,9	319,26	304,58	299,88	307,91
6	318,53	303,67	297,34	306,51
6,1	315,04	302,16	294,49	303,90
6,2	312,70	300,33	291,26	301,43
6,3	311,20	298,48	290,47	300,05
6,4	310,29	297,98	285,40	297,89
6,5	307,99	297,12	279,44	294,85
6,6	303,75	295,73	278,26	292,58
6,7	296,73	293,79	276,23	288,91
6,8	286,80	290,83	274,92	284,18
6,9	284,60	288,10	274,02	282,24
7	283,26	286,16	273,10	280,84
7,1	282,08	285,86	271,32	279,75
7,2	280,01	284,85	270,46	278,44
7,3	278,18	283,84	269,96	277,33

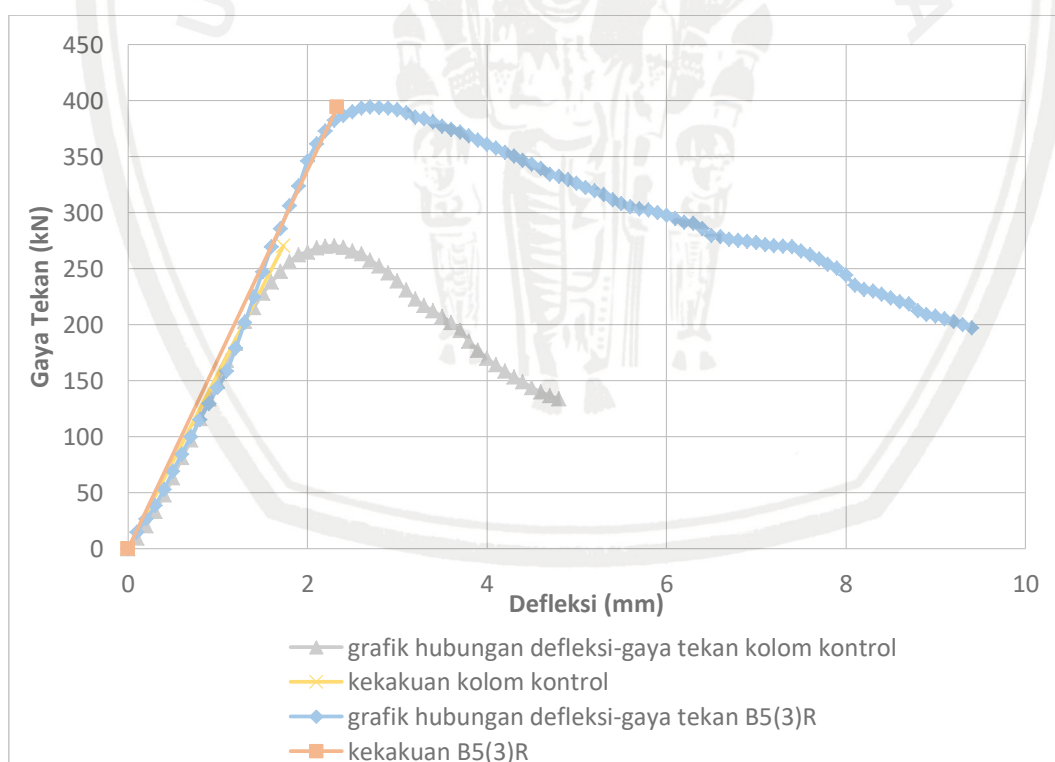
Defleksi Mm	B5(1)	B5(2)	B5(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN	Gaya Tekan kN
7,4	276,07	282,57	269,14	275,92
7,5	273,71	279,39	265,72	272,94
7,6	272,29	277,49	262,11	270,63
7,7	261,88	276,00	258,27	265,39
7,8	251,95	274,50	253,63	260,03
7,9	250,16	274,13	250,36	258,22
8	248,09	273,52	244,28	255,29
8,1	246,31	272,25	235,04	251,20
8,2	245,10	269,75	231,34	248,73
8,3	243,44	262,53	230,06	245,34
8,4	241,44	255,25	227,09	241,26
8,5	239,19	249,07	223,47	237,24
8,6	237,12	239,78	220,55	232,48
8,7	234,91	228,41	218,68	227,33
8,8	232,89	224,73	212,34	223,32
8,9	231,66	222,40	208,96	221,01
9	229,63	220,07	207,49	219,06
9,1	228,02	217,23	205,34	216,86
9,2	226,73	214,44	202,78	214,65
9,3	224,88	211,99	199,91	212,26
9,4	222,59	210,18	196,81	209,86



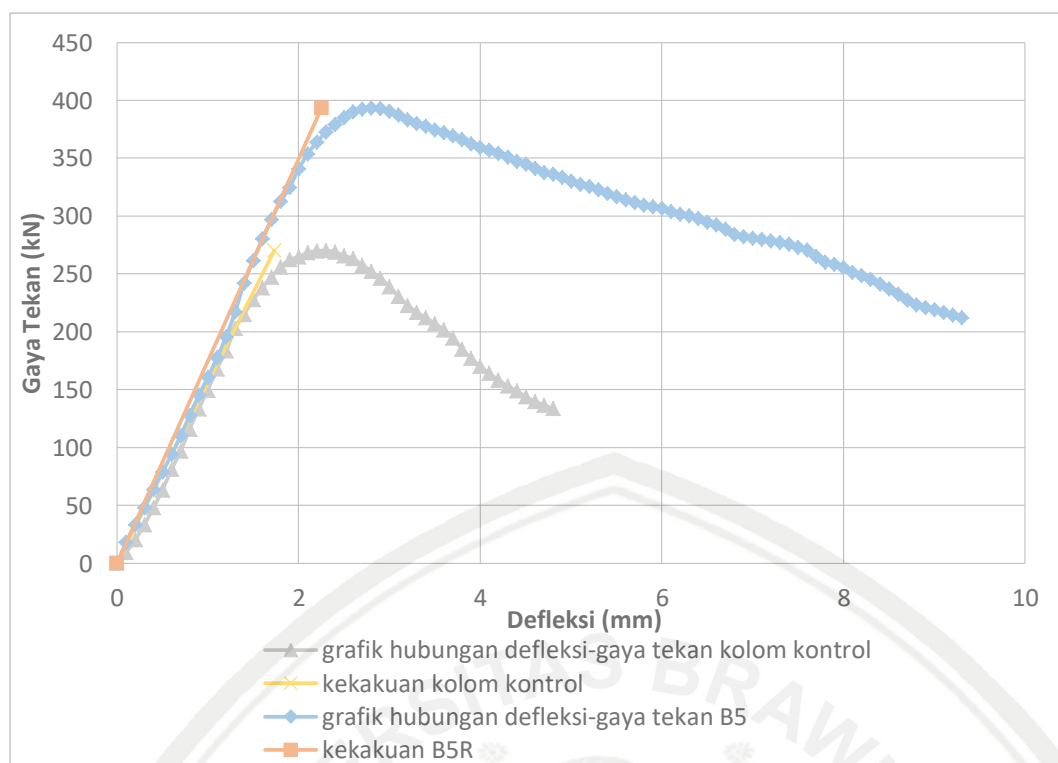
Gambar 4.15. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(1)



Gambar 4.16. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(2)



Gambar 4.17. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(3)



Gambar 4.18. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B5

Berdasarkan gaya tekan dan defleksi pada kolom kontrol dan kolom retrofit B5 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit B5(1), B5(2) dan B5(3). Dimana penentuan nilai rata - rata gabungan diperoleh dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Maka dapat disimpulkan, pada kolom retrofit B5 terjadi peningkatan batas runtuh kolom kontrol dengan beban maksimum yang semula sebesar 270,20 kN. Namun beban maksimum kolom retrofit B5 memiliki beban puncak sebesar 393,21 kN, atau bila dipresentasikan meningkat sebesar 45,52%.

Berdasarkan analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel dapat dihitung dengan cara yang telah diuraikan sebelumnya. Bahwa kolom kontrol mempunyai nilai kekakuan sebesar 156,07 kN/mm, dan kolom retrofit B5 mempunyai nilai kekakuan 174,72 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom retrofit B5 lebih kaku jika dibandingkan dengan kolom kontrol, dimana kekakuan mengalami kenaikan sebesar 11,95%.

Selanjutnya, berdasarkan pengamatan pada grafik kekakuan yang ditunjukkan dalam Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B5, diperoleh bahwa kemiringan grafik pada kondisi elastis benda uji menunjukkan

bahwa kolom retrofit B5 memiliki tingkat kemiringan yang sama dengan kolom kontrol, hal ini menunjukkan bahwa kekakuan yang dimiliki oleh kolom retrofit B5 hampir serupa dengan kolom kontrol.

4.9.1.5 Kolom kontrol – Kolom Retrofit B6

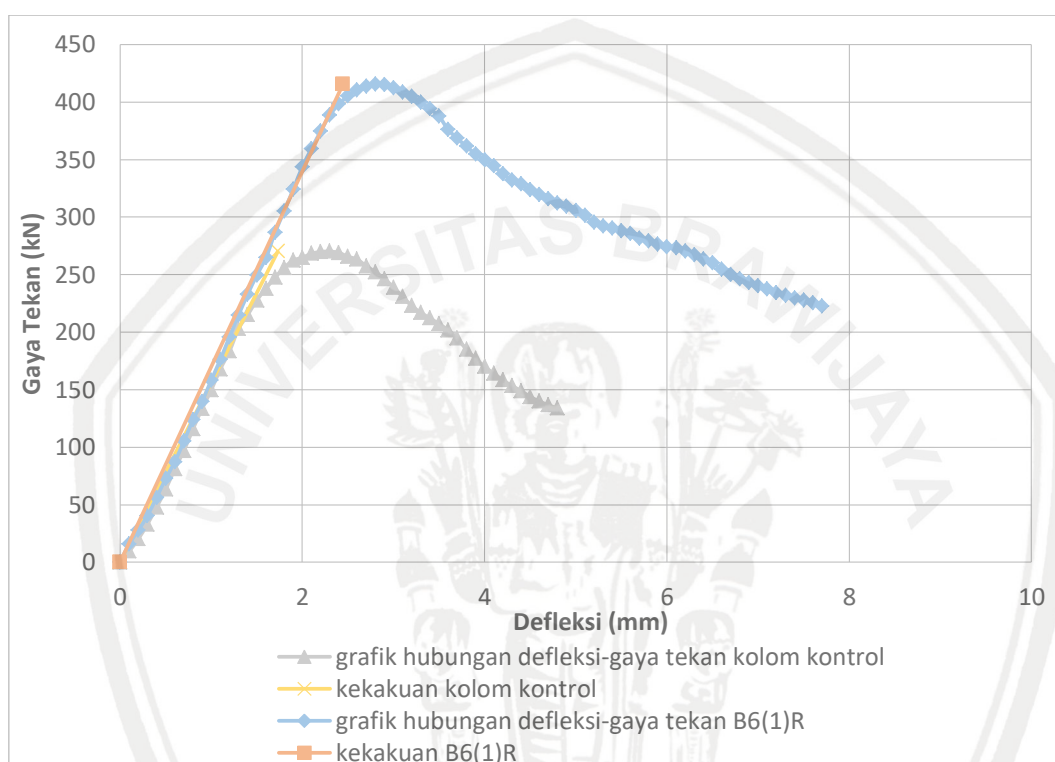
Tabel 4.22

Tabel gaya tekan dan defleksi kolom retrofit B6

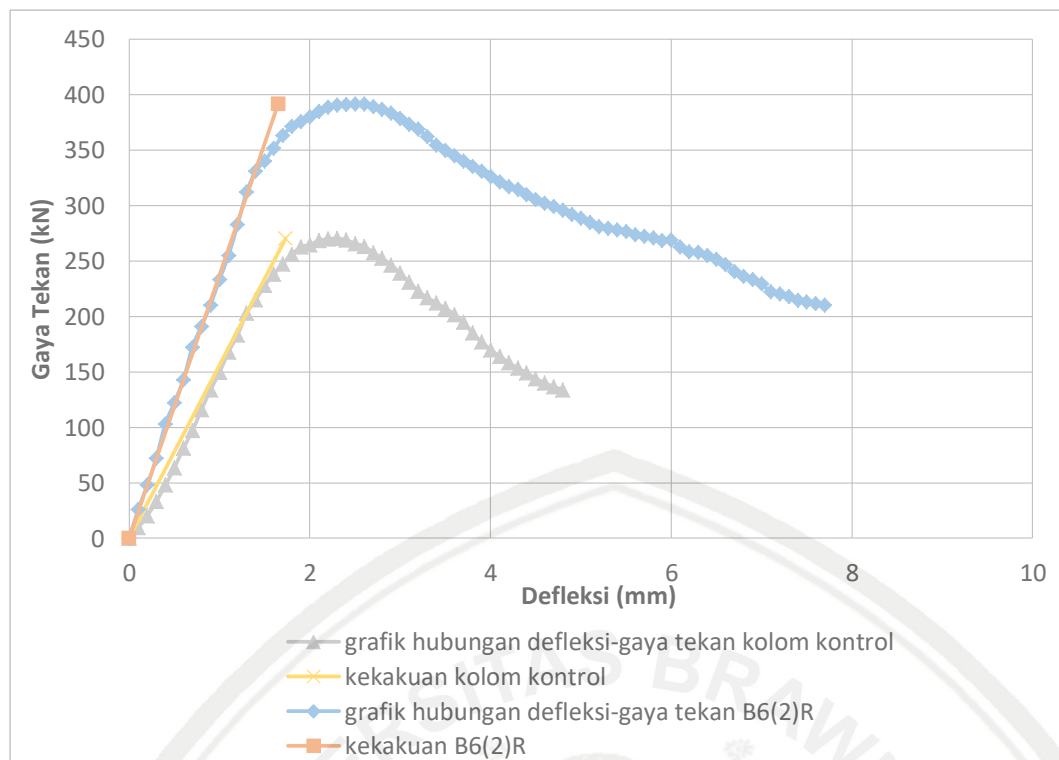
Defleksi	B6(1)	B6(2)	B6(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
Mm	kN	kN	kN	kN
0	0,00	0,00	0,00	0,00
0,1	15,75	25,80	13,24	18,26
0,2	27,80	47,87	22,16	32,61
0,3	40,55	72,35	35,17	49,36
0,4	56,24	102,75	48,13	69,04
0,5	72,60	122,23	60,62	85,15
0,6	87,33	143,00	75,44	101,92
0,7	105,09	172,40	91,31	122,93
0,8	123,79	191,15	103,64	139,53
0,9	139,51	210,33	116,06	155,30
1	158,21	233,43	129,16	173,60
1,1	176,13	255,10	144,13	191,79
1,2	195,80	282,80	160,33	212,98
1,3	214,87	312,14	178,10	235,04
1,4	232,96	330,92	198,79	254,22
1,5	249,50	340,16	216,53	268,73
1,6	264,57	351,74	232,94	283,08
1,7	286,48	362,94	249,10	299,51
1,8	305,14	371,32	265,10	313,85
1,9	324,02	375,78	278,89	326,23
2	343,70	380,04	297,50	340,41
2,1	359,43	385,04	319,46	354,64
2,2	374,45	388,78	332,56	365,26
2,3	388,56	390,58	341,72	373,62
2,4	398,20	391,10	352,23	380,51
2,5	405,38	391,60	364,77	387,25
2,6	410,48	391,35	375,57	392,47
2,7	413,77	389,21	385,01	396,00
2,8	415,57	386,62	396,27	399,49
2,9	414,82	383,48	405,30	401,20
3	412,30	378,60	409,90	400,27
3,1	408,30	373,24	413,47	398,34

Defleksi	B6(1)	B6(2)	B6(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
Mm	kN	kN	kN	kN
3,2	404,57	368,71	416,13	396,47
3,3	399,65	362,00	417,38	393,01
3,4	394,02	354,47	418,20	388,90
3,5	387,66	349,72	419,00	385,46
3,6	376,03	344,97	419,00	380,00
3,7	368,45	340,22	418,30	375,66
3,8	361,54	335,47	416,47	371,16
3,9	354,92	330,72	413,42	366,35
4	349,66	325,96	411,64	362,42
4,1	344,28	321,10	409,15	358,18
4,2	337,62	317,10	406,71	353,81
4,3	332,07	314,80	405,06	350,64
4,4	328,74	309,69	401,43	346,62
4,5	323,46	305,62	397,19	342,09
4,6	319,37	302,10	392,83	338,10
4,7	315,61	299,42	389,50	334,84
4,8	312,01	295,76	383,83	330,54
4,9	309,08	292,11	379,67	326,95
5	305,61	288,46	376,40	323,49
5,1	301,15	284,80	370,40	318,79
5,2	295,44	281,15	367,44	314,68
5,3	292,29	279,40	364,17	311,95
5,4	290,17	278,00	360,33	309,50
5,5	288,07	276,37	357,83	307,42
5,6	285,42	273,53	355,46	304,80
5,7	281,65	272,28	353,52	302,49
5,8	278,93	270,58	351,81	300,44
5,9	276,34	268,56	349,22	298,04
6	274,02	268,94	346,39	296,45
6,1	272,91	262,51	343,29	292,90
6,2	270,40	258,39	340,02	289,60
6,3	267,04	257,67	337,13	287,28
6,4	263,27	255,10	333,49	283,95
6,5	259,93	251,60	330,53	280,69
6,6	254,52	246,86	328,30	276,56
6,7	249,91	240,40	325,60	271,97
6,8	246,33	236,18	323,11	268,54
6,9	242,87	233,12	321,41	265,80
7	240,23	229,45	320,19	263,29
7,1	237,56	222,07	318,11	259,25
7,2	234,30	220,14	316,16	256,87

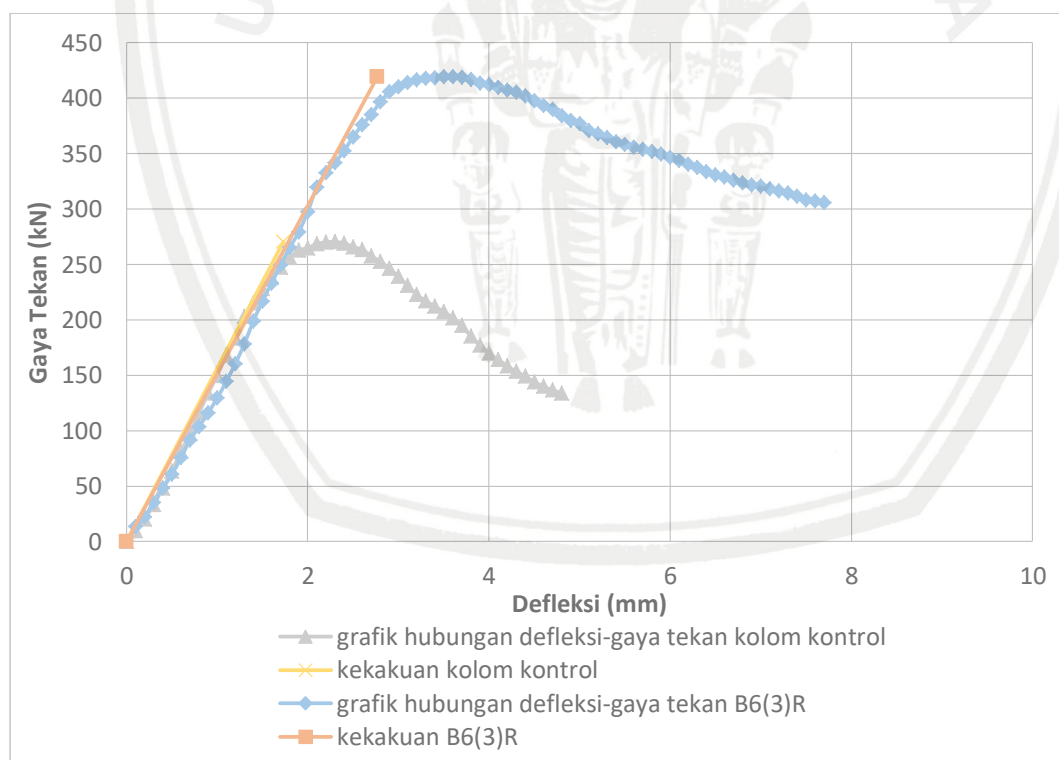
Defleksi	B6(1)	B6(2)	B6(3)	RATA - RATA
	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
Mm	kN	kN	kN	kN
7,3	231,68	218,03	314,07	254,59
7,4	229,37	214,75	311,15	251,76
7,5	227,50	213,25	307,88	249,54
7,6	225,50	211,70	306,68	247,96
7,7	222,56	210,30	305,51	246,12



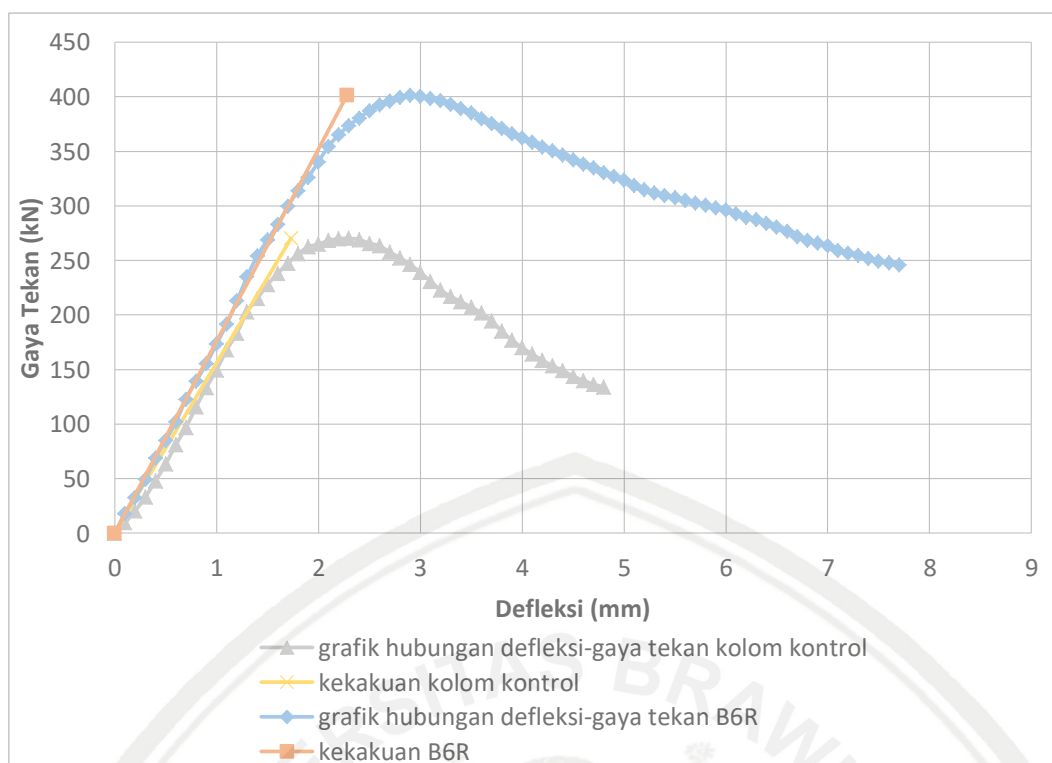
Gambar 4.19. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(1)



Gambar 4.20. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(2)



Gambar 4.21. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(3)



Gambar 4.21. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit B6

Berdasarkan Data gaya tekan dan defleksi pada kolom kontrol dan kolom retrofit B6 didapatkan dari rata – rata gabungan data gaya tekan dan defleksi kolom asli dan kolom retrofit B6(1), B6(2) dan B6(3). Dimana penentuan nilai rata - rata gabungan didapatkan dari rata-rata gaya tekan pada satu defleksi yang sama. Maka dapat disimpulkan, pada kolom retrofit B6 terjadi peningkatan batas runtuh kolom kontrol dengan beban maksimum yang semula sebesar 270,20 kN. Namun beban maksimum kolom retrofit B6 memiliki beban puncak sebesar 401,20 kN, atau bila dipresentasikan meningkat sebesar 48,48%.

Berdasarkan analisis gaya tekan dan defleksi nilai kekakuan dari masing-masing sampel bisa dihitung dengan cara yang telah diuraikan sebelumnya. Bahwa kolom kontrol memiliki nilai kekakuan sebesar 156,07 kN/mm, dan kolom retrofit B6 memiliki nilai kekakuan 175,99 kN/mm. Hal ini menunjukkan bahwa kolom retrofit B6 lebih kaku jika dibandingkan dengan kolom kontrol, dimana kekakuan mengalami kenaikan sebesar 12,76%.

Selanjutnya, berdasarkan pengamatan pada grafik kekakuan yang ditunjukkan dalam Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom kontrol dengan kolom retrofit A6, diperoleh bahwa kemiringan grafik pada kondisi elastis benda uji menunjukkan

bahwa kolom retrofit A6 memiliki tingkat kemiringan yang sama dengan kolom kontrol, hal ini menunjukkan bahwa kekakuan yang dimiliki oleh kolom retrofit A6 hampir serupa dengan kolom kontrol.

4.9.2 Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Kontrol dengan Kolom Retrofit

Hasil tegangan dan regangan yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat tekan kolom kontrol dan kolom retrofit dapat digunakan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas dari suatu benda uji. Semakin besar nilai modulus elastisitas, maka benda uji akan menjadi semakin kaku. Sedangkan sebaliknya bila nilai modulus elastisitas semakin kecil, maka benda uji tersebut akan semakin elastis.

Untuk menghitung nilai modulus elastisitas digunakan rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ε = Regangan

Untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas kolom kontrol dan kolom retrofit, digunakan nilai tegangan 75% tegangan maksimum yang diperoleh dari nilai gaya tekan maksimum dibagi dengan luas penampang kolom dan nilai regangan diambil dari nilai defleksi dari 75 % gaya tekan maksimum dibagi dengan panjang mula – mula kolom yakni 300 mm.

Tabel 4.23

Tabel data tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit
1	A5(1)		0,03033		0,02275		0,00490		4,64191
2	A5 A5(2)		0,02994		0,02246		0,00599		3,74833
3	A5(3)	0,01876	0,03083	0,01407	0,02312	0,00465	0,00537	3,02284	4,30359
4	A6(1)		0,02931		0,02199		0,00681		3,23046
5	A6(2)		0,03074		0,02306		0,00619		3,72715
6	B5 B5(1)		0,02826		0,02119		0,00669		3,17019

7		B5(2)	0,02662	0,01996	0,00462	4,31711
8		B5(3)	0,02735	0,02051	0,00583	3,52059
9		B6(1)	0,02886	0,02164	0,00612	3,53929
10	B6	B6(2)	0,02719	0,02040	0,00412	4,94584
11		B6(3)	0,02910	0,02182	0,00692	3,15317

Tabel 4.24

Tabel data rata –rata tegangan dan regangan hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit	Kon-trol	Retrofit
1	A5		0,0304		0,0228		0,0054		4,2519
2	A6	0,0188	0,0300	0,0141	0,0225	0,0047	0,0065	3,0228	3,4655
3	B5		0,0273		0,0205		0,0056		3,6400
4	B6		0,0279		0,0209		0,0057		3,6665

Dari tabel hasil rata – rata modulus elastisitas hasil uji tekan kolom kontrol dan kolom retrofit didapatkan dari rata – rata data tegangan tekan per sampel kolom kontrol dan kolom retrofit, bukan dari rata-rata aljabar dari setiap sampel. Hal ini dikarenakan nilai regangan pada saat tegangan maksimum masing-masing jenis sampel kolom berbeda.

Contoh perhitungan Modulus Elastisitas (E) (Kolom A5) :

Diketahui :

$$\sigma_{\max} = 0,0304$$

$$75\% \sigma_{\max} = 75\% \times 0,0304 = 0,0228 \text{ kN/mm}^2$$

$$\varepsilon_{75\% \sigma_{\max}} = \frac{((0,0077-0,0073)(0,0228-0,0227))+(1,0,0073x(0,0232-0,0227))}{0,0232-0,0227} = 0,0054$$

$$\varepsilon_{75\% \sigma_{\max}} = 0,0054$$

Ditanya : E ?

Jawab :

$$E = \frac{75\% \sigma_{\max}}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{0,0228 \text{ kN/mm}^2}{0,0054}$$

$$E = 4,2519 \text{ kN/mm}^2$$

4.9.2.1 Kolom kontrol

Tabel 4.25

Tabel tegangan dan regangan kolom kontrol

Regangan	Kontrol
	Tegangan
Mm	kN/mm ²
0,0000	0,0000
0,0003	0,0007
0,0007	0,0014
0,0010	0,0023
0,0013	0,0033
0,0017	0,0044
0,0020	0,0056
0,0023	0,0067
0,0027	0,0081
0,0030	0,0093
0,0033	0,0104
0,0037	0,0117
0,0040	0,0127
0,0043	0,0141
0,0047	0,0149
0,0050	0,0158
0,0053	0,0165
0,0057	0,0172
0,0060	0,0178
0,0063	0,0182
0,0067	0,0184
0,0070	0,0186
0,0073	0,0187
0,0077	0,0188
0,0080	0,0187
0,0083	0,0184
0,0087	0,0183
0,0090	0,0179
0,0093	0,0175
0,0097	0,0171
0,0100	0,0166

Regangan	Kontrol
	Tegangan
Mm	kN/mm ²
0,0103	0,0160
0,0107	0,0155
0,0110	0,0151
0,0113	0,0147
0,0117	0,0144
0,0120	0,0140
0,0123	0,0135
0,0127	0,0129
0,0130	0,0123
0,0133	0,0118
0,0137	0,0114
0,0140	0,0110
0,0143	0,0106
0,0147	0,0103
0,0150	0,0100
0,0153	0,0097
0,0157	0,0095
0,0160	0,0093

4.9.2.2 Kolom kontrol – Kolom retrofit A5

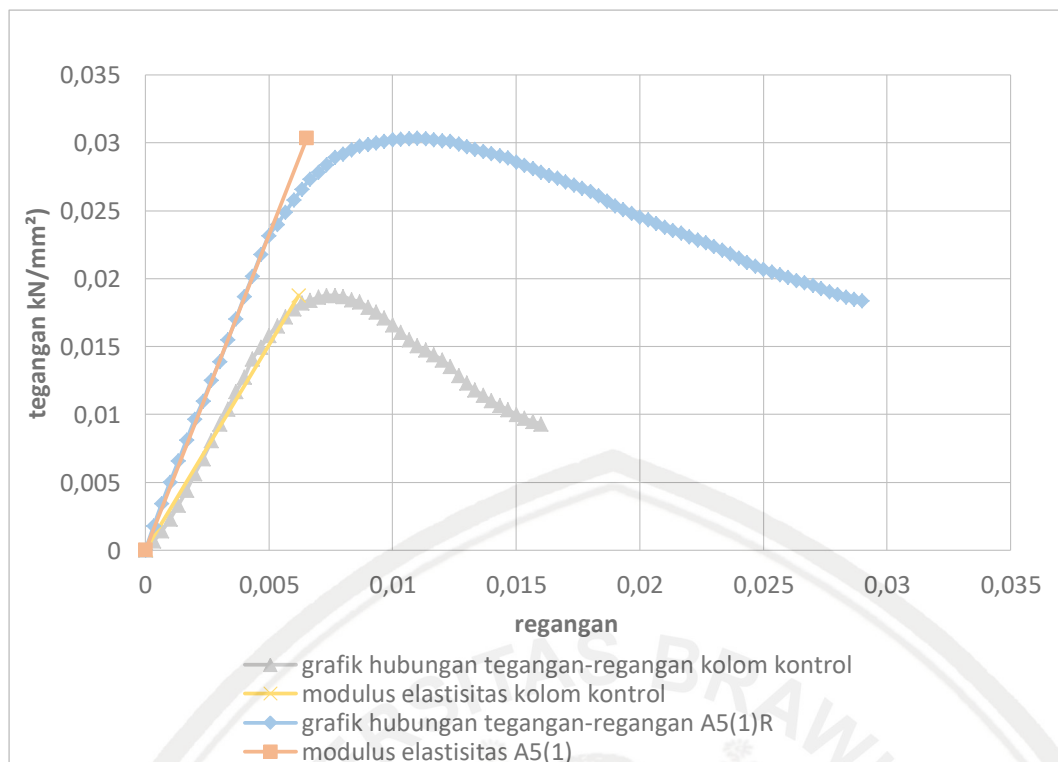
Tabel 4.26

Tabel tegangan - regangan kolom retrofit A5

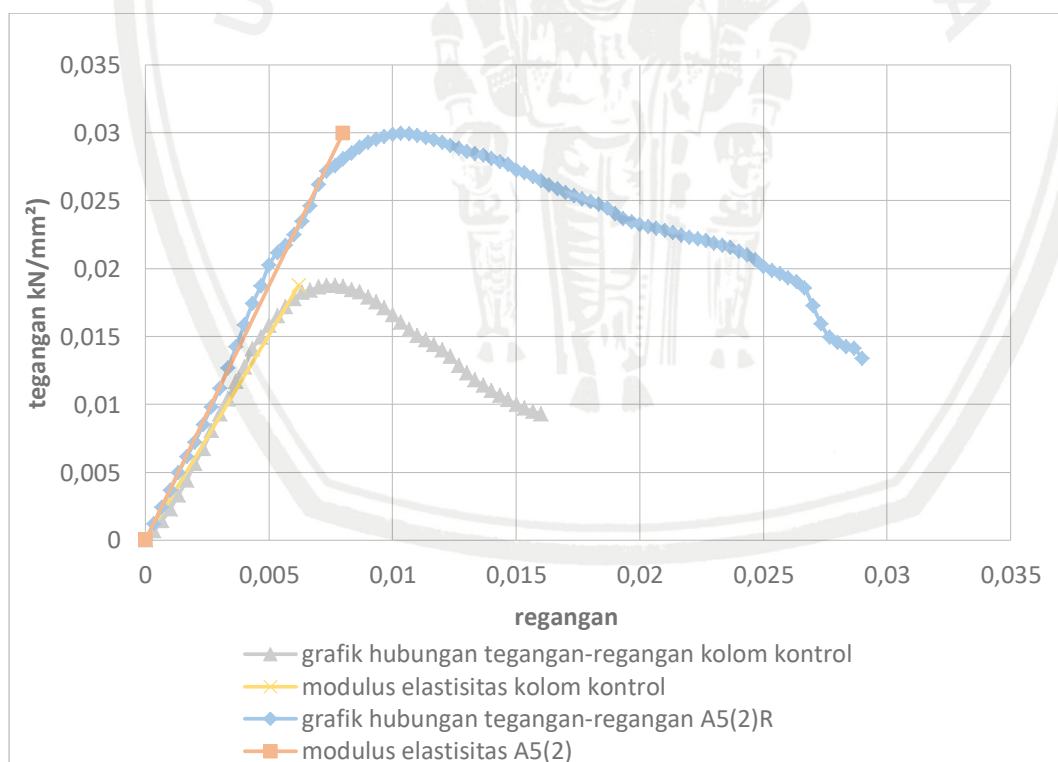
Regangan	A5(1)	A5(2)	A5(3)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0003	0,0018	0,0012	0,0019	0,0013
0,0007	0,0034	0,0024	0,0037	0,0026
0,0010	0,0050	0,0037	0,0053	0,0037
0,0013	0,0066	0,0050	0,0069	0,0049
0,0017	0,0081	0,0061	0,0087	0,0061
0,0020	0,0096	0,0072	0,0103	0,0073
0,0023	0,0110	0,0085	0,0120	0,0085
0,0027	0,0125	0,0098	0,0141	0,0098
0,0030	0,0139	0,0112	0,0154	0,0109
0,0033	0,0155	0,0126	0,0165	0,0120
0,0037	0,0170	0,0142	0,0178	0,0132
0,0040	0,0187	0,0158	0,0192	0,0144

Regangan	A5(1)	A5(2)	A5(3)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0043	0,0202	0,0174	0,0201	0,0155
0,0047	0,0218	0,0187	0,0211	0,0166
0,0050	0,0232	0,0202	0,0220	0,0176
0,0053	0,0240	0,0212	0,0230	0,0184
0,0057	0,0249	0,0217	0,0243	0,0191
0,0060	0,0258	0,0225	0,0252	0,0199
0,0063	0,0266	0,0235	0,0258	0,0206
0,0067	0,0273	0,0246	0,0266	0,0213
0,0070	0,0278	0,0262	0,0273	0,0221
0,0073	0,0284	0,0272	0,0279	0,0227
0,0077	0,0289	0,0276	0,0286	0,0232
0,0080	0,0292	0,0281	0,0293	0,0236
0,0083	0,0295	0,0285	0,0297	0,0240
0,0087	0,0297	0,0289	0,0299	0,0243
0,0090	0,0299	0,0293	0,0301	0,0246
0,0093	0,0300	0,0295	0,0304	0,0248
0,0097	0,0301	0,0297	0,0307	0,0250
0,0100	0,0302	0,0299	0,0308	0,0252
0,0103	0,0303	0,0299	0,0308	0,0253
0,0107	0,0303	0,0299	0,0308	0,0254
0,0110	0,0303	0,0298	0,0308	0,0255
0,0113	0,0303	0,0296	0,0308	0,0255
0,0117	0,0302	0,0295	0,0307	0,0255
0,0120	0,0301	0,0293	0,0306	0,0255
0,0123	0,0301	0,0290	0,0304	0,0255
0,0127	0,0299	0,0288	0,0302	0,0254
0,0130	0,0297	0,0286	0,0301	0,0254
0,0133	0,0295	0,0284	0,0299	0,0253
0,0137	0,0294	0,0283	0,0296	0,0252
0,0140	0,0292	0,0281	0,0292	0,0251
0,0143	0,0290	0,0279	0,0289	0,0250
0,0147	0,0289	0,0277	0,0287	0,0250
0,0150	0,0286	0,0272	0,0283	0,0248
0,0153	0,0283	0,0271	0,0280	0,0247
0,0157	0,0281	0,0268	0,0277	0,0246
0,0160	0,0278	0,0264	0,0275	0,0244
0,0163	0,0276	0,0261	0,0272	0,0243
0,0167	0,0274	0,0259	0,0269	0,0242
0,0170	0,0271	0,0256	0,0266	0,0241
0,0173	0,0269	0,0254	0,0263	0,0240
0,0177	0,0267	0,0251	0,0260	0,0239

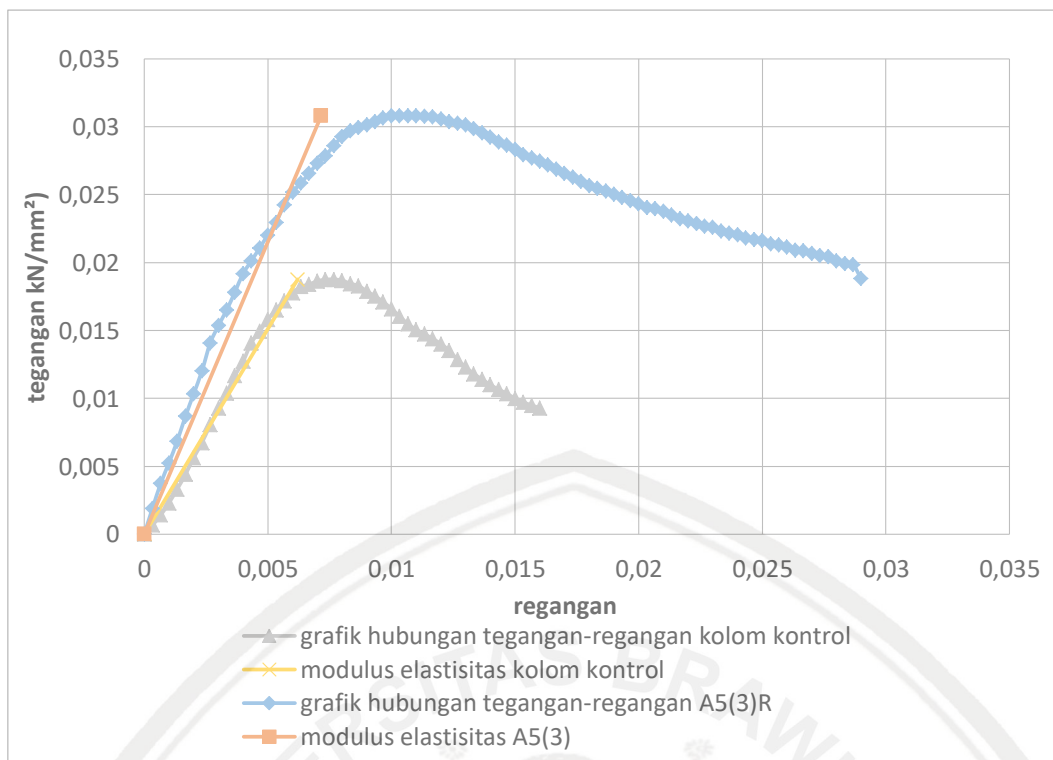
Regangan	A5(1)	A5(2)	A5(3)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0180	0,0264	0,0249	0,0257	0,0238
0,0183	0,0261	0,0247	0,0255	0,0236
0,0187	0,0257	0,0244	0,0253	0,0235
0,0190	0,0253	0,0240	0,0251	0,0233
0,0193	0,0251	0,0237	0,0248	0,0232
0,0197	0,0248	0,0234	0,0246	0,0231
0,0200	0,0245	0,0232	0,0243	0,0230
0,0203	0,0243	0,0231	0,0241	0,0229
0,0207	0,0241	0,0229	0,0240	0,0229
0,0210	0,0238	0,0228	0,0238	0,0228
0,0213	0,0236	0,0226	0,0235	0,0228
0,0217	0,0234	0,0224	0,0232	0,0227
0,0220	0,0231	0,0223	0,0231	0,0226
0,0223	0,0228	0,0222	0,0229	0,0226
0,0227	0,0226	0,0221	0,0227	0,0225
0,0230	0,0224	0,0219	0,0226	0,0225
0,0233	0,0221	0,0217	0,0223	0,0224
0,0237	0,0218	0,0216	0,0222	0,0223
0,0240	0,0215	0,0213	0,0220	0,0222
0,0243	0,0212	0,0210	0,0218	0,0221
0,0247	0,0209	0,0206	0,0217	0,0220
0,0250	0,0207	0,0201	0,0216	0,0218
0,0253	0,0205	0,0199	0,0214	0,0218
0,0257	0,0203	0,0196	0,0213	0,0217
0,0260	0,0201	0,0193	0,0211	0,0216
0,0263	0,0199	0,0190	0,0209	0,0215
0,0267	0,0197	0,0186	0,0209	0,0214
0,0270	0,0195	0,0172	0,0207	0,0211
0,0273	0,0193	0,0159	0,0205	0,0208
0,0277	0,0190	0,0149	0,0204	0,0205
0,0280	0,0188	0,0145	0,0201	0,0204
0,0283	0,0186	0,0142	0,0199	0,0203
0,0287	0,0185	0,0141	0,0199	0,0203
0,0290	0,0183	0,0134	0,0188	0,0199



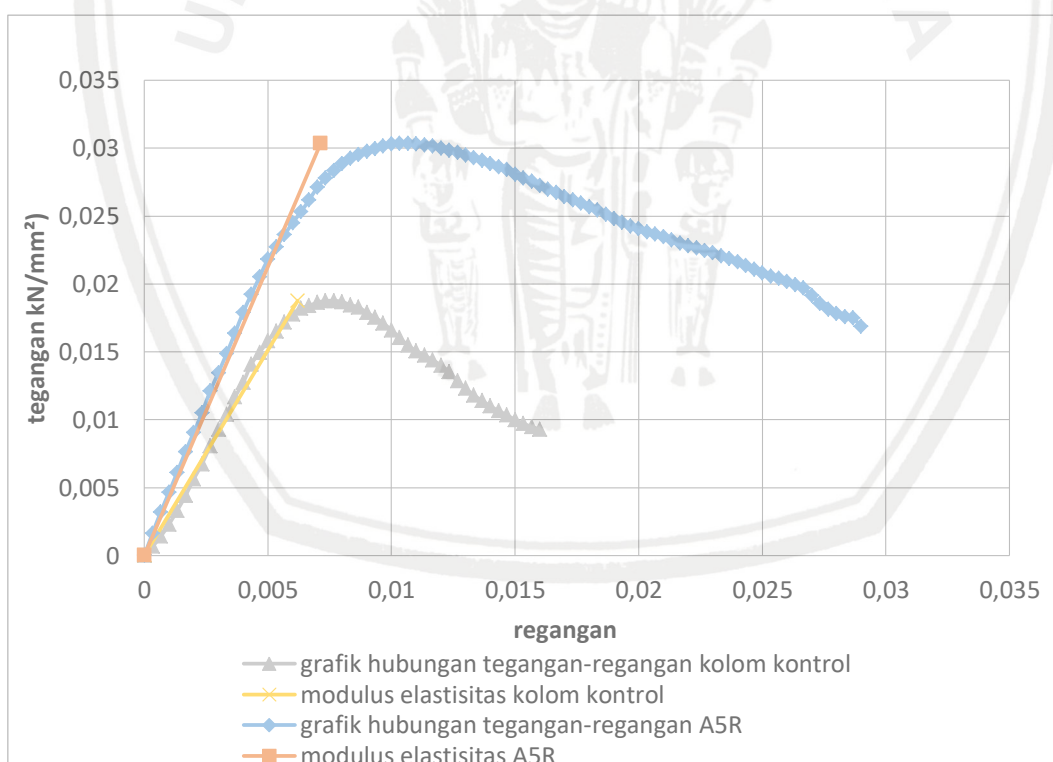
Gambar 4.23. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(1)



Gambar 4.24. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(2)



Gambar 4.25. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5(3)



Gambar 4.26. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5

Nilai modulus elastisitas dari kolom kontrol dan kolom retrofit A5 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom kontrol dan kolom retrofit A5(1), A5(2) dan A5(3), bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak mempunyai nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom kontrol sebesar $3,0228 \text{ kN/mm}^2$, sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit A5 sebesar $4,2519 \text{ kN/mm}^2$. Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan elastisitas pada kolom retrofit A5 sebesar 40,66% dari nilai elastisitas kolom kontrol.

Selanjutnya, berdasarkan pengamatan pada grafik modulus elastisitas yang ditunjukkan dalam Grafik perbandingan hasil tegangan dan regangan kolom kontrol dengan kolom retrofit A5, diperoleh bahwa kemiringan grafik pada kondisi elastis benda uji menunjukkan bahwa kolom retrofit A5 memiliki tingkat kemiringan yang lebih besar dibandingkan dengan kolom kontrol, hal ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas yang dimiliki oleh kolom retrofit A5 lebih besar dibandingkan kolom kontrol.

4.9.2.3 Kolom kontrol – Kolom retrofit A6

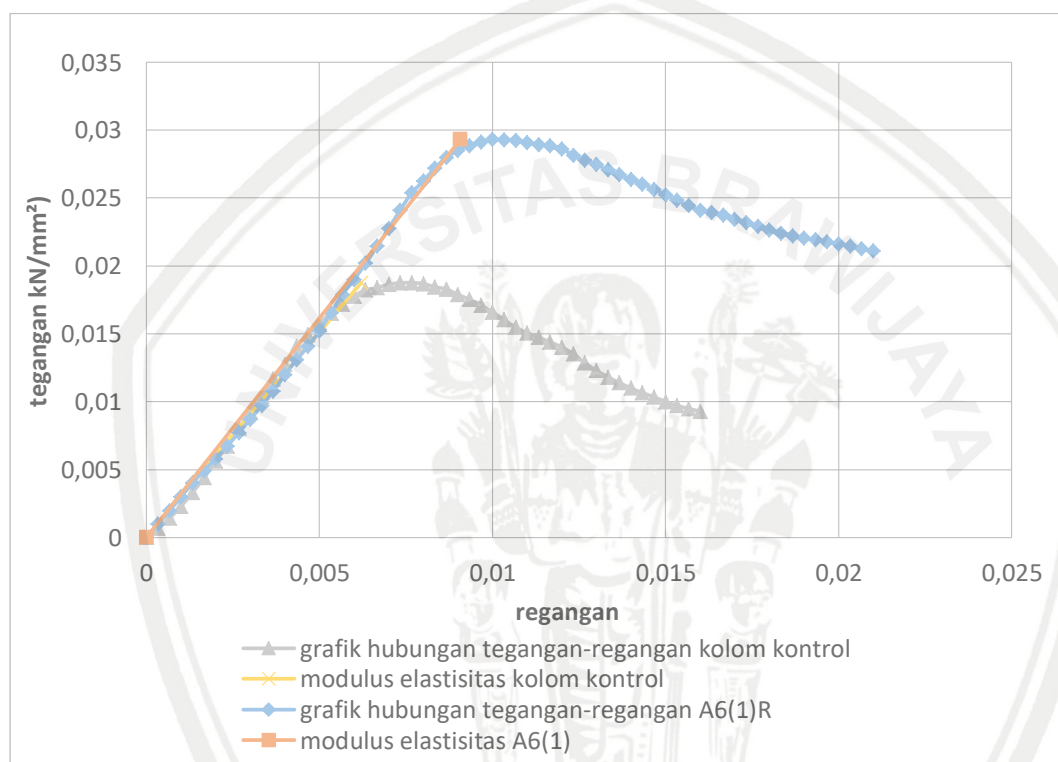
Tabel 4.27

Tabel tegangan dan regangan retrofit A6

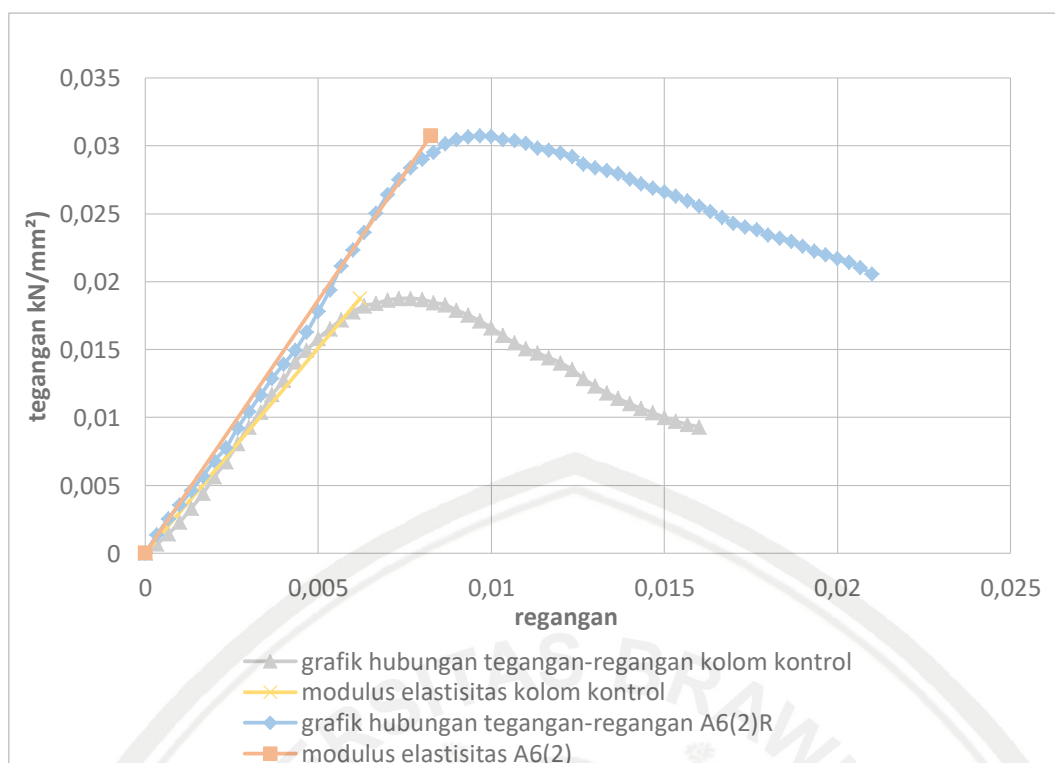
Regangan	A6(1)	A6(2)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan
Mm	kN/mm^2	kN/mm^2	kN/mm^2
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0003	0,0010	0,0013	0,0013
0,0007	0,0020	0,0025	0,0023
0,0010	0,0030	0,0036	0,0031
0,0013	0,0040	0,0046	0,0040
0,0017	0,0049	0,0057	0,0049
0,0020	0,0058	0,0068	0,0057
0,0023	0,0067	0,0078	0,0065
0,0027	0,0077	0,0092	0,0074
0,0030	0,0087	0,0104	0,0083
0,0033	0,0097	0,0116	0,0093
0,0037	0,0108	0,0129	0,0102
0,0040	0,0120	0,0139	0,0112
0,0043	0,0131	0,0150	0,0121
0,0047	0,0141	0,0163	0,0131
0,0050	0,0152	0,0178	0,0141
0,0053	0,0166	0,0194	0,0153

Regangan	A6(1)	A6(2)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	Mm	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0057	0,0179	0,0212	0,0167
0,0060	0,0190	0,0223	0,0177
0,0063	0,0202	0,0236	0,0189
0,0067	0,0214	0,0250	0,0199
0,0070	0,0227	0,0264	0,0209
0,0073	0,0241	0,0275	0,0218
0,0077	0,0254	0,0284	0,0226
0,0080	0,0262	0,0290	0,0232
0,0083	0,0272	0,0295	0,0237
0,0087	0,0280	0,0301	0,0242
0,0090	0,0285	0,0305	0,0245
0,0093	0,0288	0,0307	0,0247
0,0097	0,0291	0,0307	0,0249
0,0100	0,0293	0,0307	0,0250
0,0103	0,0293	0,0304	0,0249
0,0107	0,0292	0,0304	0,0249
0,0110	0,0291	0,0302	0,0248
0,0113	0,0289	0,0298	0,0246
0,0117	0,0288	0,0297	0,0246
0,0120	0,0286	0,0295	0,0244
0,0123	0,0281	0,0292	0,0243
0,0127	0,0278	0,0287	0,0240
0,0130	0,0275	0,0284	0,0239
0,0133	0,0271	0,0282	0,0238
0,0137	0,0267	0,0279	0,0235
0,0140	0,0264	0,0276	0,0233
0,0143	0,0260	0,0272	0,0231
0,0147	0,0256	0,0269	0,0230
0,0150	0,0252	0,0266	0,0228
0,0153	0,0248	0,0263	0,0226
0,0157	0,0245	0,0259	0,0223
0,0160	0,0241	0,0256	0,0220
0,0163	0,0239	0,0252	0,0218
0,0167	0,0238	0,0247	0,0216
0,0170	0,0234	0,0243	0,0213
0,0173	0,0232	0,0240	0,0211
0,0177	0,0229	0,0238	0,0210
0,0180	0,0226	0,0234	0,0208
0,0183	0,0224	0,0232	0,0206
0,0187	0,0222	0,0230	0,0204
0,0190	0,0221	0,0226	0,0202

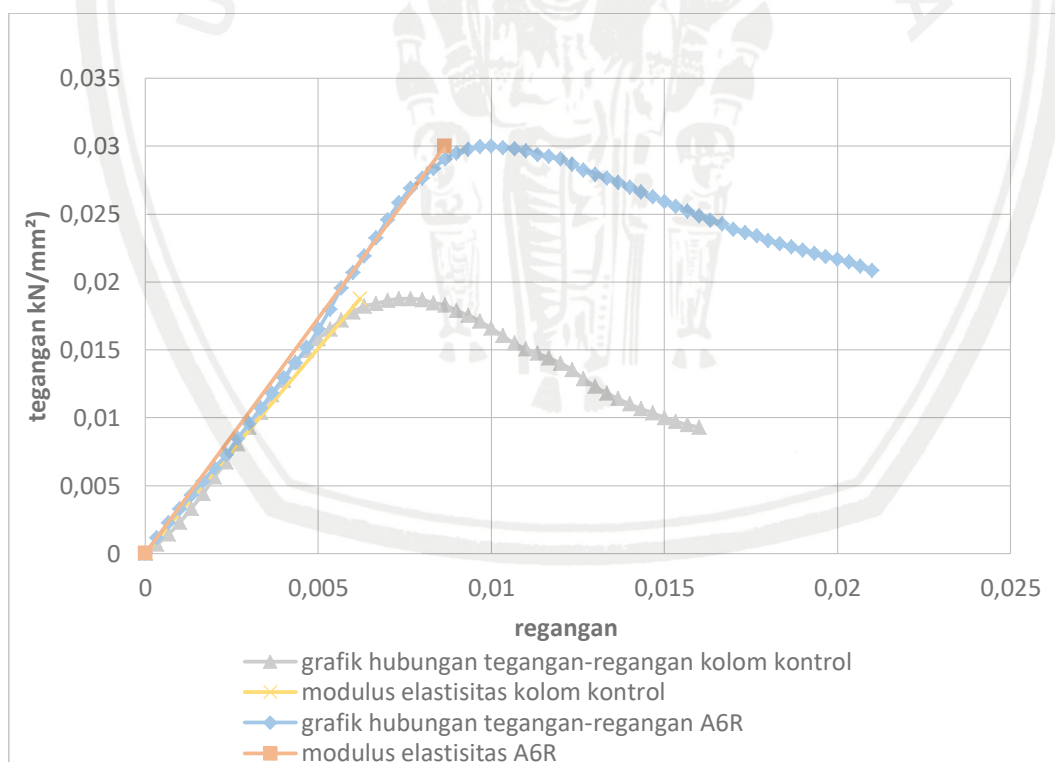
Regangan	A6(1)	A6(2)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan
Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0193	0,0219	0,0223	0,0200
0,0197	0,0218	0,0220	0,0199
0,0200	0,0216	0,0217	0,0198
0,0203	0,0215	0,0214	0,0197
0,0207	0,0213	0,0210	0,0195
0,0210	0,0211	0,0206	0,0193



Gambar 4.27. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A6(1)



Gambar 4.28. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A6(2)



Gambar 4.29. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A6

Nilai modulus elastisitas dari kolom kontrol dan kolom retrofit A6 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit A6(1), A6(2), bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak memiliki nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom kontrol sebesar 3,0228 kN/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit A6 sebesar 3,4655 kN/mm². Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan elastisitas pada kolom retrofit A6 sebesar 14,64% dari nilai elastisitas kolom kontrol.

Selanjutnya, berdasarkan pengamatan pada grafik modulus elastisitas yang ditunjukkan dalam Grafik perbandingan hasil tegangan dan regangan kolom kontrol dengan kolom retrofit A6, diperoleh bahwa kemiringan grafik pada kondisi elastis benda uji menunjukkan bahwa kolom retrofit A6 memiliki tingkat kemiringan yang sama dengan kolom kontrol, hal ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas yang dimiliki oleh kolom retrofit A6 hampir serupa dengan kolom kontrol.

4.9.2.4 Kolom kontrol – Kolom Retrofit B5

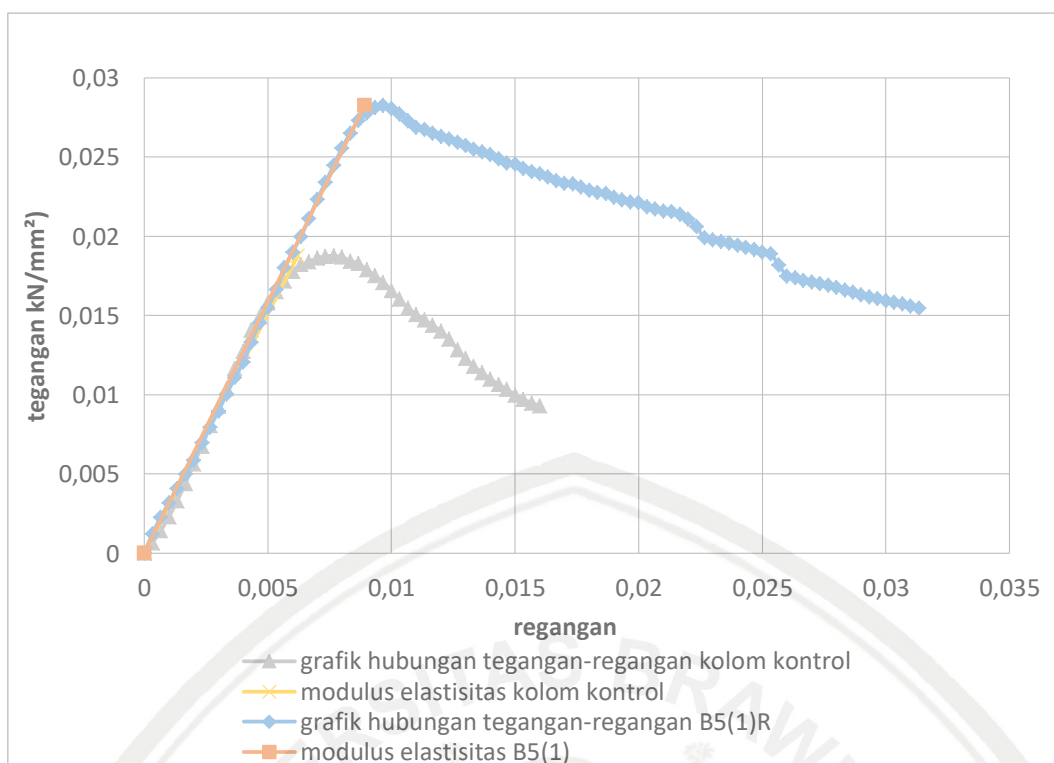
Tabel 4.28.

Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit B5

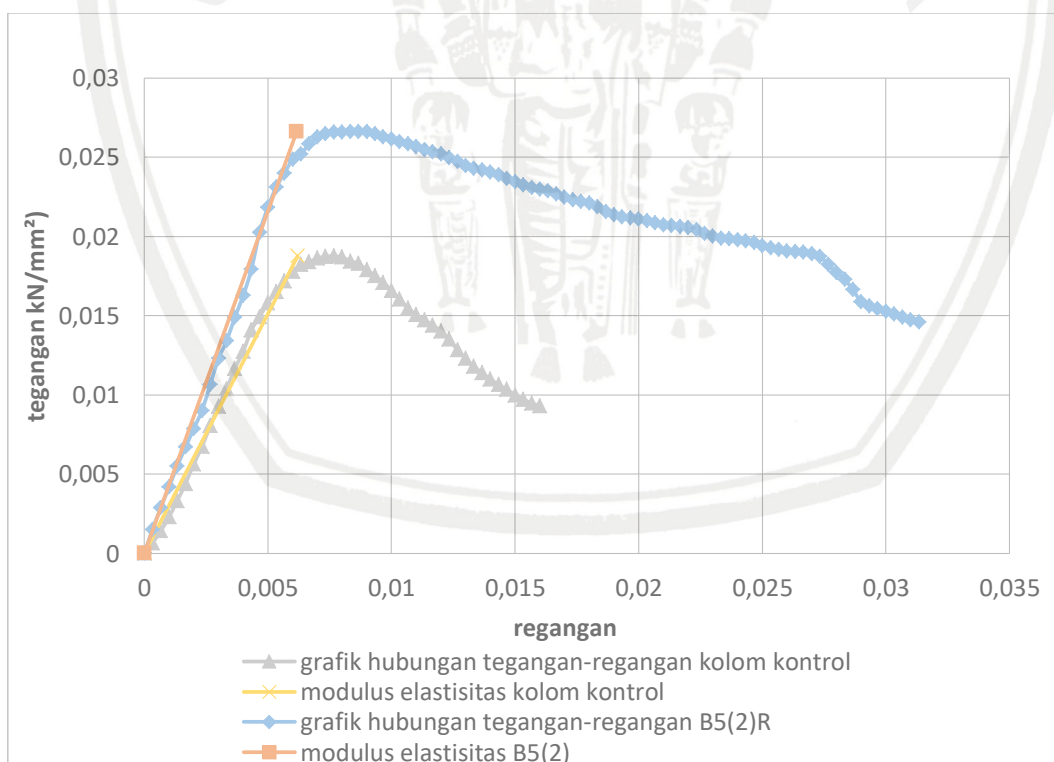
Regangan	B5(1)	B5(2)	B5(3)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0003	0,0012	0,0015	0,0010	0,0010
0,0007	0,0023	0,0029	0,0018	0,0019
0,0010	0,0032	0,0042	0,0027	0,0028
0,0013	0,0041	0,0055	0,0037	0,0037
0,0017	0,0050	0,0067	0,0048	0,0045
0,0020	0,0059	0,0079	0,0059	0,0054
0,0023	0,0070	0,0090	0,0070	0,0063
0,0027	0,0080	0,0106	0,0080	0,0073
0,0030	0,0090	0,0123	0,0090	0,0083
0,0033	0,0100	0,0134	0,0100	0,0092
0,0037	0,0111	0,0149	0,0110	0,0102
0,0040	0,0121	0,0163	0,0124	0,0112
0,0043	0,0133	0,0179	0,0140	0,0124
0,0047	0,0146	0,0203	0,0156	0,0138
0,0050	0,0155	0,0218	0,0172	0,0149
0,0053	0,0167	0,0231	0,0187	0,0159

Regangan	B5(1)	B5(2)	B5(3)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0057	0,0180	0,0240	0,0198	0,0169
0,0060	0,0190	0,0249	0,0212	0,0178
0,0063	0,0200	0,0252	0,0225	0,0185
0,0067	0,0211	0,0258	0,0240	0,0194
0,0070	0,0223	0,0263	0,0251	0,0202
0,0073	0,0234	0,0265	0,0259	0,0208
0,0077	0,0245	0,0266	0,0265	0,0213
0,0080	0,0256	0,0266	0,0268	0,0217
0,0083	0,0265	0,0266	0,0271	0,0221
0,0087	0,0273	0,0266	0,0273	0,0225
0,0090	0,0278	0,0266	0,0274	0,0227
0,0093	0,0281	0,0265	0,0273	0,0228
0,0097	0,0283	0,0263	0,0273	0,0229
0,0100	0,0281	0,0261	0,0272	0,0229
0,0103	0,0277	0,0260	0,0270	0,0228
0,0107	0,0273	0,0258	0,0267	0,0226
0,0110	0,0269	0,0257	0,0266	0,0225
0,0113	0,0268	0,0255	0,0265	0,0225
0,0117	0,0265	0,0253	0,0262	0,0224
0,0120	0,0263	0,0252	0,0260	0,0224
0,0123	0,0261	0,0250	0,0258	0,0223
0,0127	0,0259	0,0247	0,0256	0,0222
0,0130	0,0257	0,0245	0,0253	0,0221
0,0133	0,0255	0,0243	0,0251	0,0220
0,0137	0,0253	0,0242	0,0248	0,0220
0,0140	0,0252	0,0241	0,0246	0,0219
0,0143	0,0249	0,0239	0,0243	0,0219
0,0147	0,0246	0,0237	0,0241	0,0218
0,0150	0,0246	0,0234	0,0238	0,0217
0,0153	0,0243	0,0232	0,0236	0,0216
0,0157	0,0241	0,0231	0,0232	0,0215
0,0160	0,0239	0,0230	0,0231	0,0215
0,0163	0,0238	0,0229	0,0229	0,0215
0,0167	0,0235	0,0227	0,0226	0,0214
0,0170	0,0234	0,0225	0,0224	0,0213
0,0173	0,0233	0,0223	0,0222	0,0213
0,0177	0,0231	0,0222	0,0219	0,0212
0,0180	0,0229	0,0221	0,0216	0,0212
0,0183	0,0228	0,0219	0,0214	0,0211
0,0187	0,0227	0,0216	0,0212	0,0210
0,0190	0,0225	0,0214	0,0211	0,0210

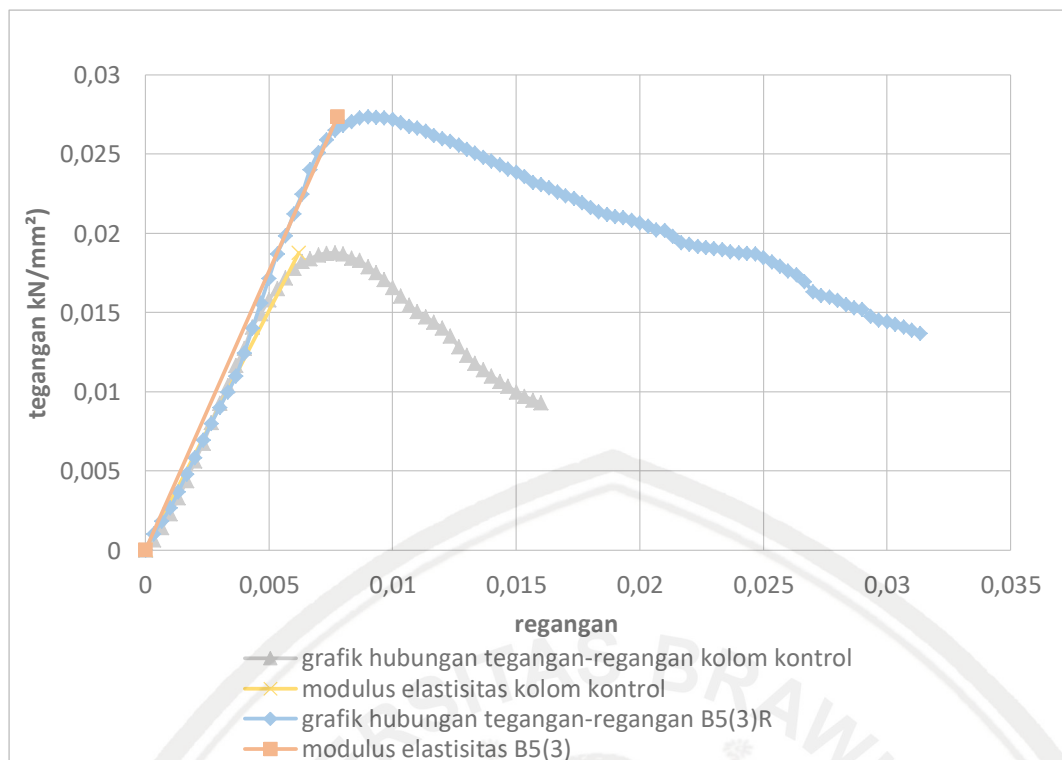
Regangan	B5(1)	B5(2)	B5(3)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0193	0,0223	0,0212	0,0210	0,0210
0,0197	0,0222	0,0212	0,0208	0,0210
0,0200	0,0221	0,0211	0,0206	0,0210
0,0203	0,0219	0,0210	0,0205	0,0209
0,0207	0,0217	0,0209	0,0202	0,0209
0,0210	0,0216	0,0207	0,0202	0,0209
0,0213	0,0215	0,0207	0,0198	0,0208
0,0217	0,0214	0,0206	0,0194	0,0208
0,0220	0,0211	0,0205	0,0193	0,0207
0,0223	0,0206	0,0204	0,0192	0,0206
0,0227	0,0199	0,0202	0,0191	0,0205
0,0230	0,0198	0,0200	0,0190	0,0204
0,0233	0,0197	0,0199	0,0190	0,0205
0,0237	0,0196	0,0199	0,0188	0,0205
0,0240	0,0194	0,0198	0,0188	0,0205
0,0243	0,0193	0,0197	0,0187	0,0205
0,0247	0,0192	0,0196	0,0187	0,0205
0,0250	0,0190	0,0194	0,0185	0,0205
0,0253	0,0189	0,0193	0,0182	0,0204
0,0257	0,0182	0,0192	0,0179	0,0202
0,0260	0,0175	0,0191	0,0176	0,0200
0,0263	0,0174	0,0190	0,0174	0,0200
0,0267	0,0172	0,0190	0,0170	0,0200
0,0270	0,0171	0,0189	0,0163	0,0198
0,0273	0,0170	0,0187	0,0161	0,0198
0,0277	0,0169	0,0182	0,0160	0,0197
0,0280	0,0168	0,0177	0,0158	0,0196
0,0283	0,0166	0,0173	0,0155	0,0194
0,0287	0,0165	0,0167	0,0153	0,0193
0,0290	0,0163	0,0159	0,0152	0,0191
0,0293	0,0162	0,0156	0,0147	0,0190
0,0297	0,0161	0,0154	0,0145	0,0189
0,0300	0,0159	0,0153	0,0144	0,0189
0,0303	0,0158	0,0151	0,0143	0,0189
0,0307	0,0157	0,0149	0,0141	0,0188
0,0310	0,0156	0,0147	0,0139	0,0188
0,0313	0,0155	0,0146	0,0137	0,0188



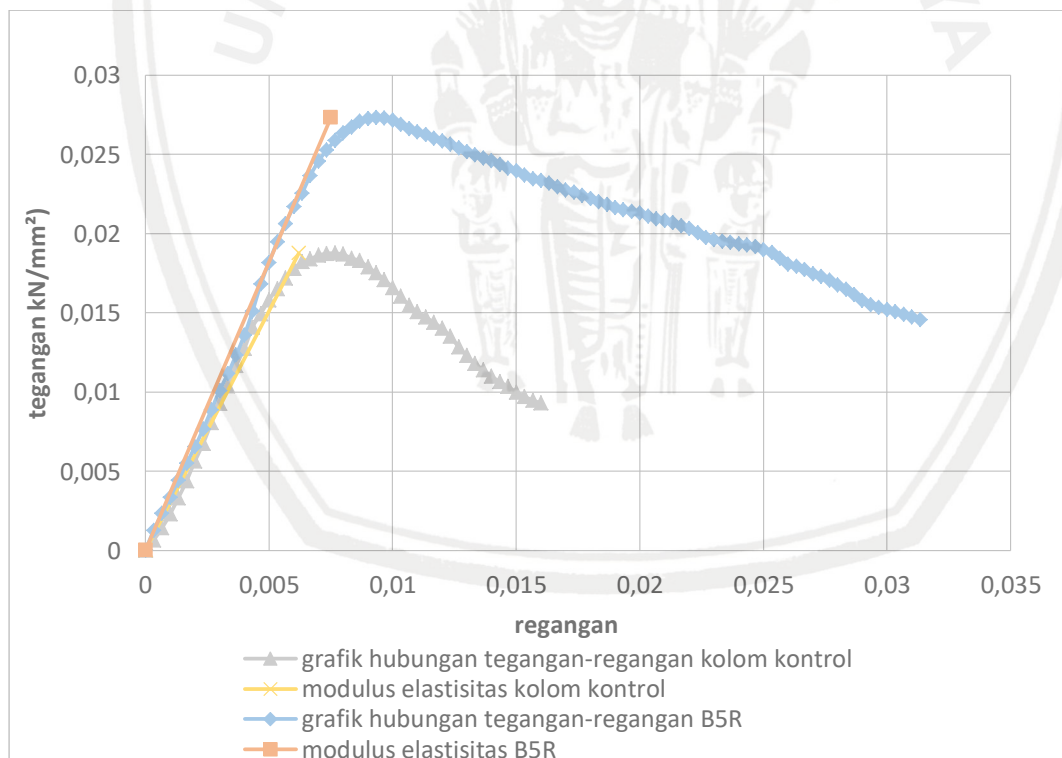
Gambar 4.30. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(1)



Gambar 4.31. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(2)



Gambar 4.32. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5(3)



Gambar 4.33. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5

Nilai modulus elastisitas dari kolom kontrol dan kolom retrofit B5 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom kontrol dan kolom retrofit B5(1), B5(2) dan B5(3), bukan nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum dari masing-masing jenis sampel tidak mempunyai nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom kontrol sebesar 3,0228 kN/mm², sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit B5 sebesar 3,6400 kN/mm². Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan elastisitas pada kolom retrofit B5 sebesar 20,42% dari nilai elastisitas kolom kontrol.

Selanjutnya, berdasarkan pengamatan pada grafik modulus elastisitas yang ditunjukkan dalam Grafik perbandingan hasil tegangan dan regangan kolom kontrol dengan kolom retrofit B5, diperoleh bahwa kemiringan grafik pada kondisi elastis benda uji menunjukkan bahwa kolom retrofit B5 memiliki tingkat kemiringan yang hamper sama dengan kolom kontrol, hal ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas yang dimiliki oleh kolom retrofit B5 hampir sama dengan kolom kontrol.

4.9.2.5 Kolom kontrol – Kolom Retrofit B6

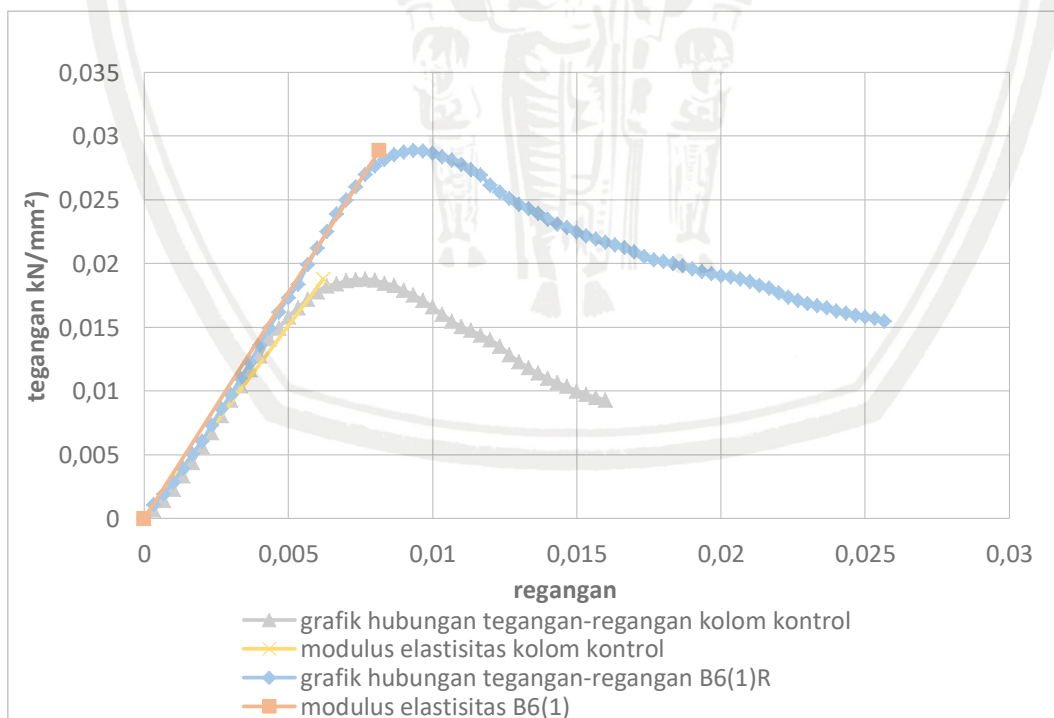
Tabel 4.29

Tabel tegangan dan regangan kolom retrofit B6

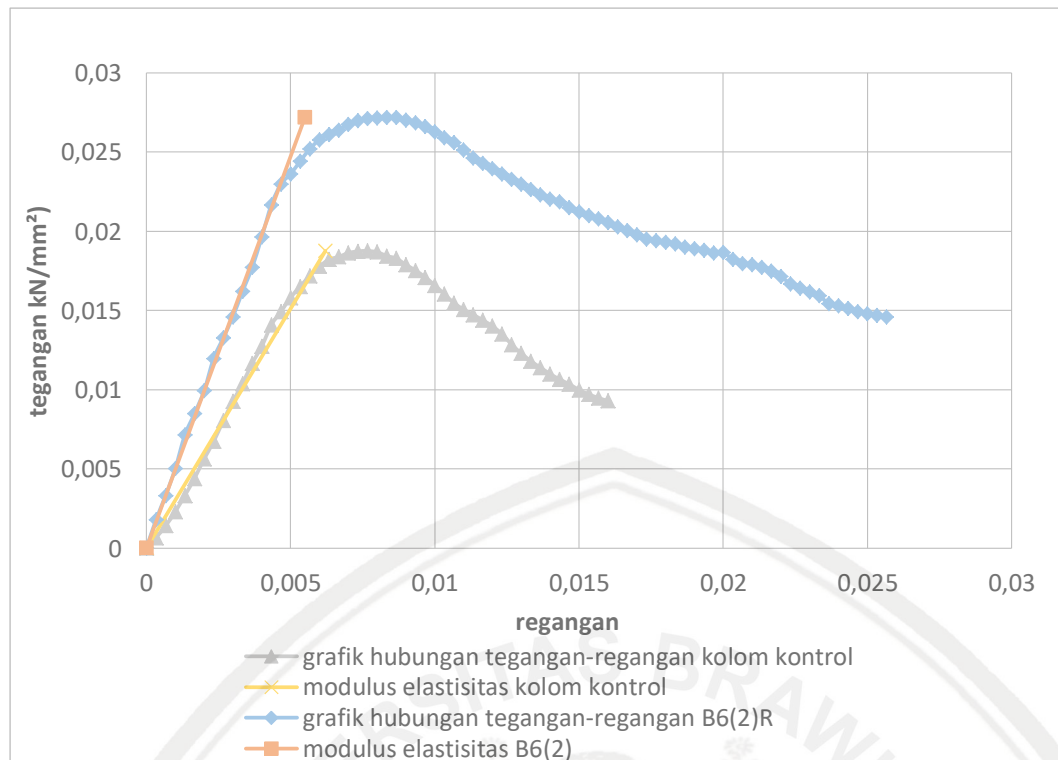
Regangan	B6(1)	B6(2)	B6(3)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,0003	0,0011	0,0018	0,0009	0,0010
0,0007	0,0019	0,0033	0,0015	0,0019
0,0010	0,0028	0,0050	0,0024	0,0028
0,0013	0,0039	0,0071	0,0033	0,0039
0,0017	0,0050	0,0085	0,0042	0,0049
0,0020	0,0061	0,0099	0,0052	0,0058
0,0023	0,0073	0,0120	0,0063	0,0070
0,0027	0,0086	0,0133	0,0072	0,0079
0,0030	0,0097	0,0146	0,0081	0,0088
0,0033	0,0110	0,0162	0,0090	0,0099
0,0037	0,0122	0,0177	0,0100	0,0109
0,0040	0,0136	0,0196	0,0111	0,0121
0,0043	0,0149	0,0217	0,0124	0,0133
0,0047	0,0162	0,0230	0,0138	0,0144
0,0050	0,0173	0,0236	0,0150	0,0152
0,0053	0,0184	0,0244	0,0162	0,0161

Regangan	B6(1)	B6(2)	B6(3)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0057	0,0199	0,0252	0,0173	0,0170
0,0060	0,0212	0,0258	0,0184	0,0178
0,0063	0,0225	0,0261	0,0194	0,0186
0,0067	0,0239	0,0264	0,0207	0,0194
0,0070	0,0250	0,0267	0,0222	0,0202
0,0073	0,0260	0,0270	0,0231	0,0209
0,0077	0,0270	0,0271	0,0237	0,0214
0,0080	0,0277	0,0272	0,0245	0,0218
0,0083	0,0282	0,0272	0,0253	0,0223
0,0087	0,0285	0,0272	0,0261	0,0226
0,0090	0,0287	0,0270	0,0267	0,0229
0,0093	0,0289	0,0268	0,0275	0,0231
0,0097	0,0288	0,0266	0,0281	0,0233
0,0100	0,0286	0,0263	0,0285	0,0233
0,0103	0,0284	0,0259	0,0287	0,0233
0,0107	0,0281	0,0256	0,0289	0,0233
0,0110	0,0278	0,0251	0,0290	0,0232
0,0113	0,0274	0,0246	0,0290	0,0231
0,0117	0,0269	0,0243	0,0291	0,0230
0,0120	0,0261	0,0240	0,0291	0,0228
0,0123	0,0256	0,0236	0,0290	0,0226
0,0127	0,0251	0,0233	0,0289	0,0225
0,0130	0,0246	0,0230	0,0287	0,0223
0,0133	0,0243	0,0226	0,0286	0,0222
0,0137	0,0239	0,0223	0,0284	0,0221
0,0140	0,0234	0,0220	0,0282	0,0219
0,0143	0,0231	0,0219	0,0281	0,0218
0,0147	0,0228	0,0215	0,0279	0,0217
0,0150	0,0225	0,0212	0,0276	0,0216
0,0153	0,0222	0,0210	0,0273	0,0214
0,0157	0,0219	0,0208	0,0270	0,0214
0,0160	0,0217	0,0205	0,0267	0,0212
0,0163	0,0215	0,0203	0,0264	0,0211
0,0167	0,0212	0,0200	0,0261	0,0210
0,0170	0,0209	0,0198	0,0257	0,0209
0,0173	0,0205	0,0195	0,0255	0,0207
0,0177	0,0203	0,0194	0,0253	0,0207
0,0180	0,0202	0,0193	0,0250	0,0206
0,0183	0,0200	0,0192	0,0248	0,0206
0,0187	0,0198	0,0190	0,0247	0,0205
0,0190	0,0196	0,0189	0,0246	0,0205

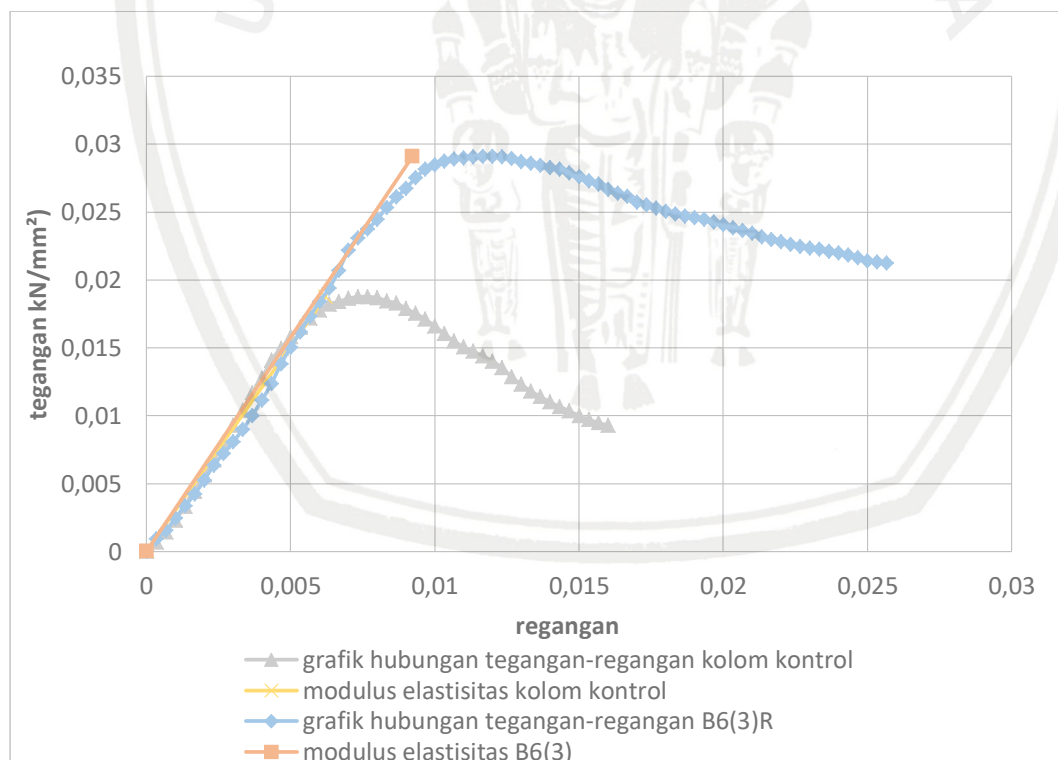
Regangan	B6(1)	B6(2)	B6(3)	RATA - RATA
	Tegangan	Tegangan	Tegangan	Tegangan
	Mm	kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²
0,0193	0,0194	0,0188	0,0244	0,0205
0,0197	0,0192	0,0186	0,0243	0,0204
0,0200	0,0190	0,0187	0,0241	0,0204
0,0203	0,0190	0,0182	0,0238	0,0203
0,0207	0,0188	0,0179	0,0236	0,0203
0,0210	0,0185	0,0179	0,0234	0,0202
0,0213	0,0183	0,0177	0,0232	0,0201
0,0217	0,0181	0,0175	0,0230	0,0200
0,0220	0,0177	0,0171	0,0228	0,0199
0,0223	0,0174	0,0167	0,0226	0,0197
0,0227	0,0171	0,0164	0,0224	0,0197
0,0230	0,0169	0,0162	0,0223	0,0196
0,0233	0,0167	0,0159	0,0222	0,0195
0,0237	0,0165	0,0154	0,0221	0,0194
0,0240	0,0163	0,0153	0,0220	0,0194
0,0243	0,0161	0,0151	0,0218	0,0193
0,0247	0,0159	0,0149	0,0216	0,0193
0,0250	0,0158	0,0148	0,0214	0,0192
0,0253	0,0157	0,0147	0,0213	0,0192
0,0257	0,0155	0,0146	0,0212	0,0192



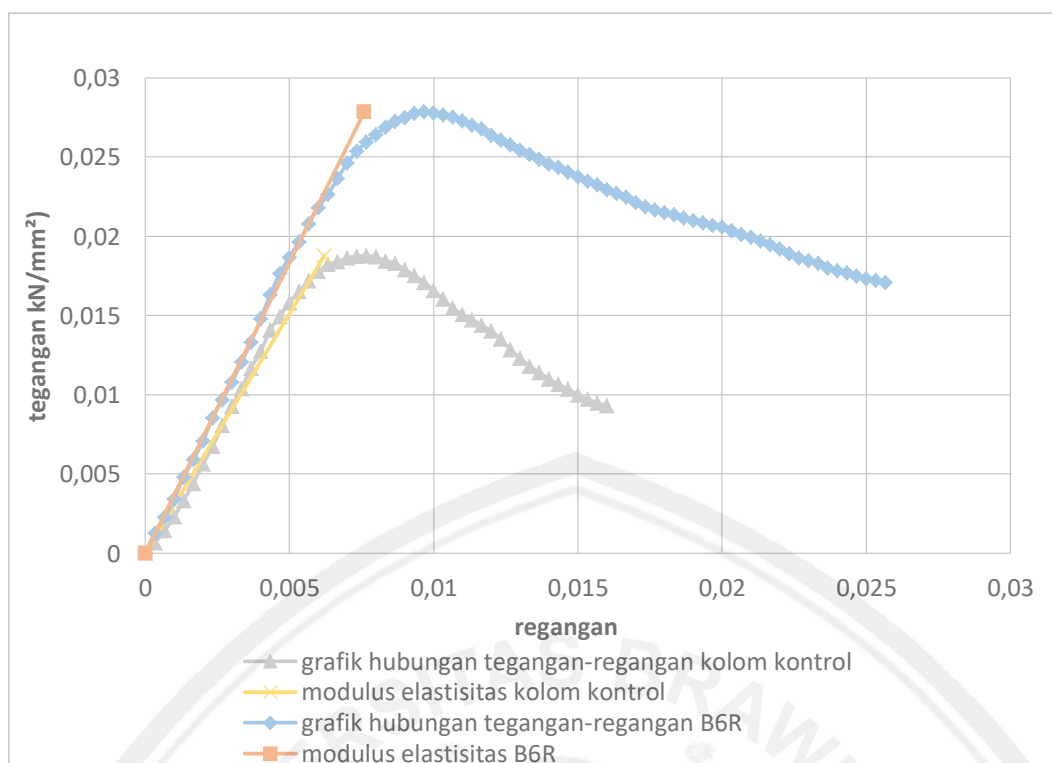
Gambar 4.34. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(1)



Gambar 4.35. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(2)



Gambar 4.36. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6(3)



Gambar 4.37. Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6

Nilai modulus elastisitas dari kolom kontrol dan kolom retrofit B6 didapatkan dari rata – rata gabungan dari nilai modulus elastisitas kolom kontrol dan kolom retrofit B6(1), B6(2) dan B6(3), tidak didapatkan dari nilai rata-rata aljabar dari tiap jenis sampel. Hal ini dikarenakan tegangan maksimum pada masing-masing jenis sampel tidak mempunyai nilai regangan yang sama. Nilai modulus elastisitas kolom kontrol sebesar $3,0228 \text{ kN/mm}^2$, sedangkan nilai modulus elastisitas kolom retrofit B6 sebesar $3,6665 \text{ kN/mm}^2$. Jadi dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan elastisitas pada kolom retrofit B6 sebesar 21,29% dari nilai elastisitas kolom kontrol.

Selanjutnya, berdasarkan pengamatan pada grafik modulus elastisitas yang ditunjukkan dalam Grafik perbandingan hasil tegangan dan regangan kolom kontrol dengan kolom retrofit B6, diperoleh bahwa kemiringan grafik pada kondisi elastis benda uji menunjukkan bahwa kolom retrofit B6 memiliki tingkat kemiringan yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan kolom kontrol, hal ini menunjukkan bahwa modulus elastisitas yang dimiliki oleh kolom retrofit B6 lebih besar dibandingkan kolom kontrol.

4.9.3 Daktilitas Kolom kontrol dengan Kolom Retrofit

Analisis mengenai daktilitas antara kolom kontrol dengan kolom retrofit bertujuan untuk mengetahui nilai daktilitas pada kolom, daktilitas diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, untuk mengetahui perubahan bentuk yang berlebihan dan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan

Nilai daktilitas didapatkan dari rumus :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Dimana :

μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)

Analisis data untuk mencari nilai daktilitas kolom kontrol dan kolom retrofit, diperlukan nilai deformasi ultimate yang didapatkan dari nilai daktilitas dengan menyamakan penurunan kapasitas beban aksial maksimum antara kolom asli dan kolom retrofit.

Tabel 4.30

Tabel daktilitas pada kolom kontrol dan kolom retrofit

Kolom		Gaya Tekan Maksimum	Δy	Beban Akhir	% Beban Keruntuhan	Beban Runtuh	Δu	Dakti- litas	Peningka- tan Daktilitas
		kN	mm	kN		kN	mm		%
A5	Kontrol	270,16	1,73	133,82	55,51%	149,98	4,38	2,53	60,65%
	Retrofit	437,05	2,14	242,62		242,62	8,70	4,06	
A6	Kontrol	270,16	1,73	133,82	49,64%	134,10	4,61	2,66	26,84%
	Retrofit	431,63	2,48	214,41		214,41	8,30	3,37	
B5	Kontrol	270,16	1,73	133,82	53,37%	144,19	4,49	2,60	60,85%
	Retrofit	393,21	2,25	209,86		209,86	9,40	4,18	
B6	Kontrol	270,16	1,73	133,82	61,35%	165,73	4,07	2,35	43,57%
	Retrofit	401,20	2,28	246,12		246,12	7,70	3,38	

Contoh perhitungan daktilitas (Kolom kontrol A5) :

Diketahui :

$$\Delta u = 4,38 \text{ mm}$$

$$\Delta y = 1,73 \text{ mm}$$

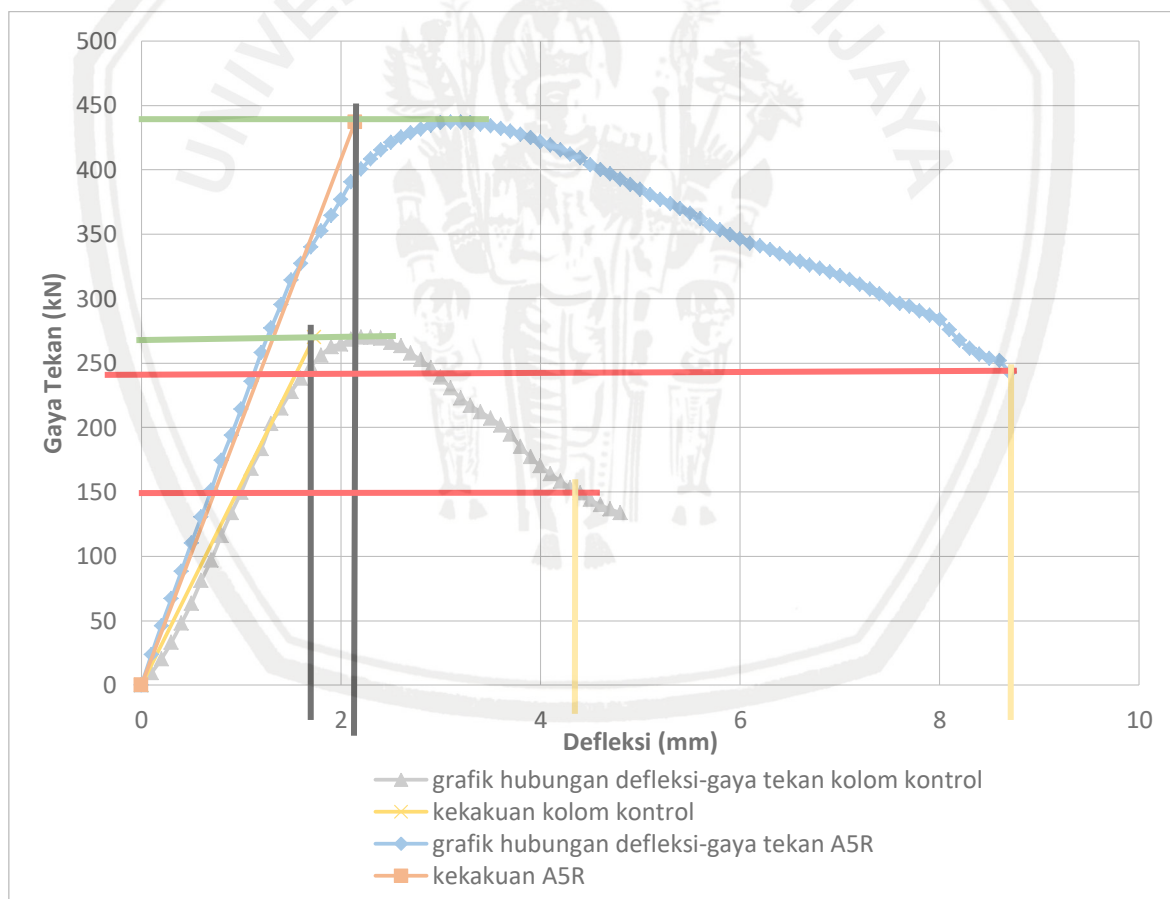
Dit : μ_{Δ}

Jawab :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

$$\mu_{\Delta} = \frac{4,38}{1,73}$$

$$\mu_{\Delta} = 2,53$$

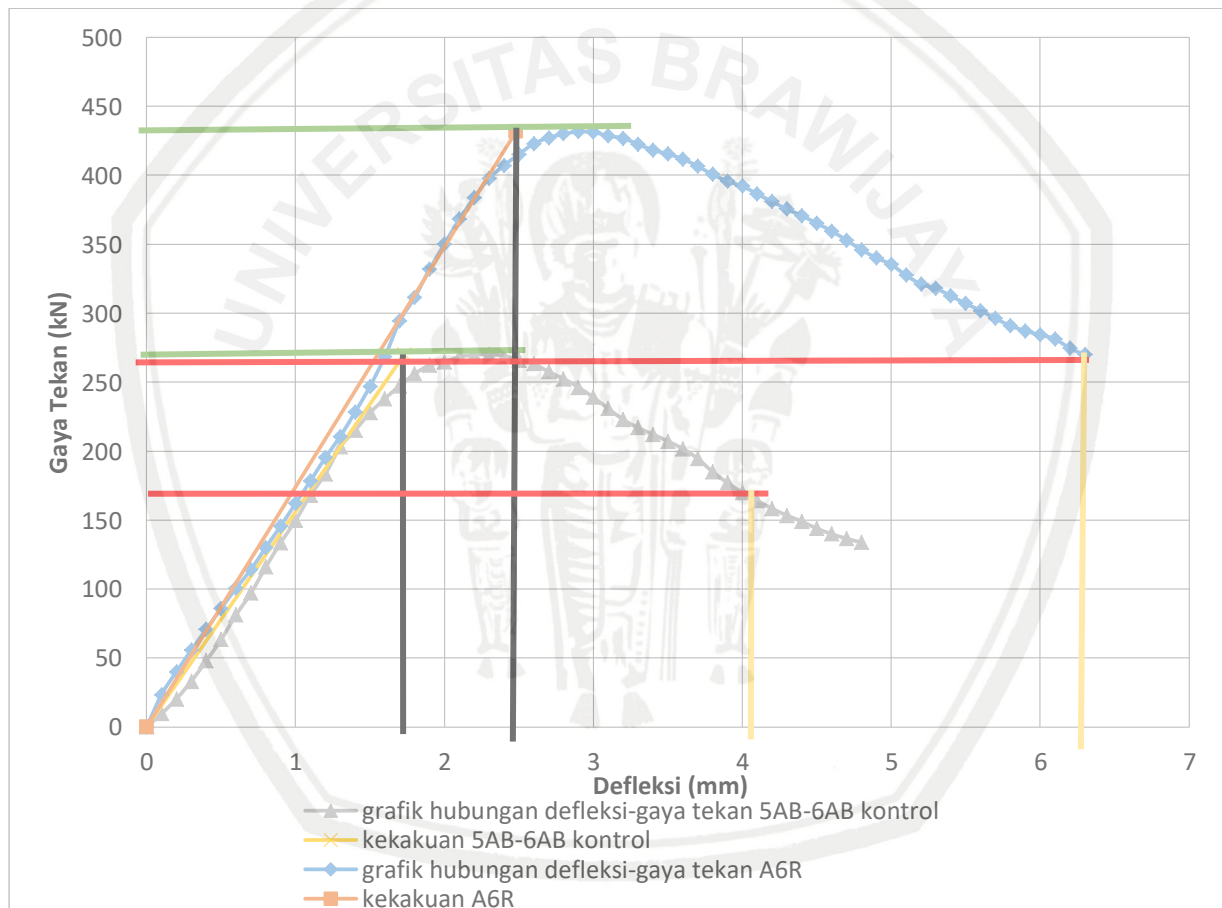


Gambar 4.38. Grafik perbandingan daktilitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A5

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom kontrol dengan kolom retrofit A5 pengambilan deformasi leleh sebesar 75% dari beban puncak dan deformasi ultimate

sebesar 55,51% beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas dari kolom kontrol sebesar 2,53 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit A5 sebesar 4,06, apabila dipersentasikan maka kolom mengalami peningkatan daktilitas pada kolom retrofit A5 sebesar 60,65% dari daktilitas kolom kontrol.

Pada kolom retrofit A5 dapat dilihat bahwa kolom mampu berdeformasi yang cukup panjang hingga mencapai 8,7 mm, dibandingkan dengan kolom kontrol yang hanya mampu berdeformasi hingga 4,38 mm dan kemudian mengalami keruntuhan pada kondisi tersebut, dalam hal ini pada kolom kontrol beban mengalami penurunan dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan kolom retrofit A5.

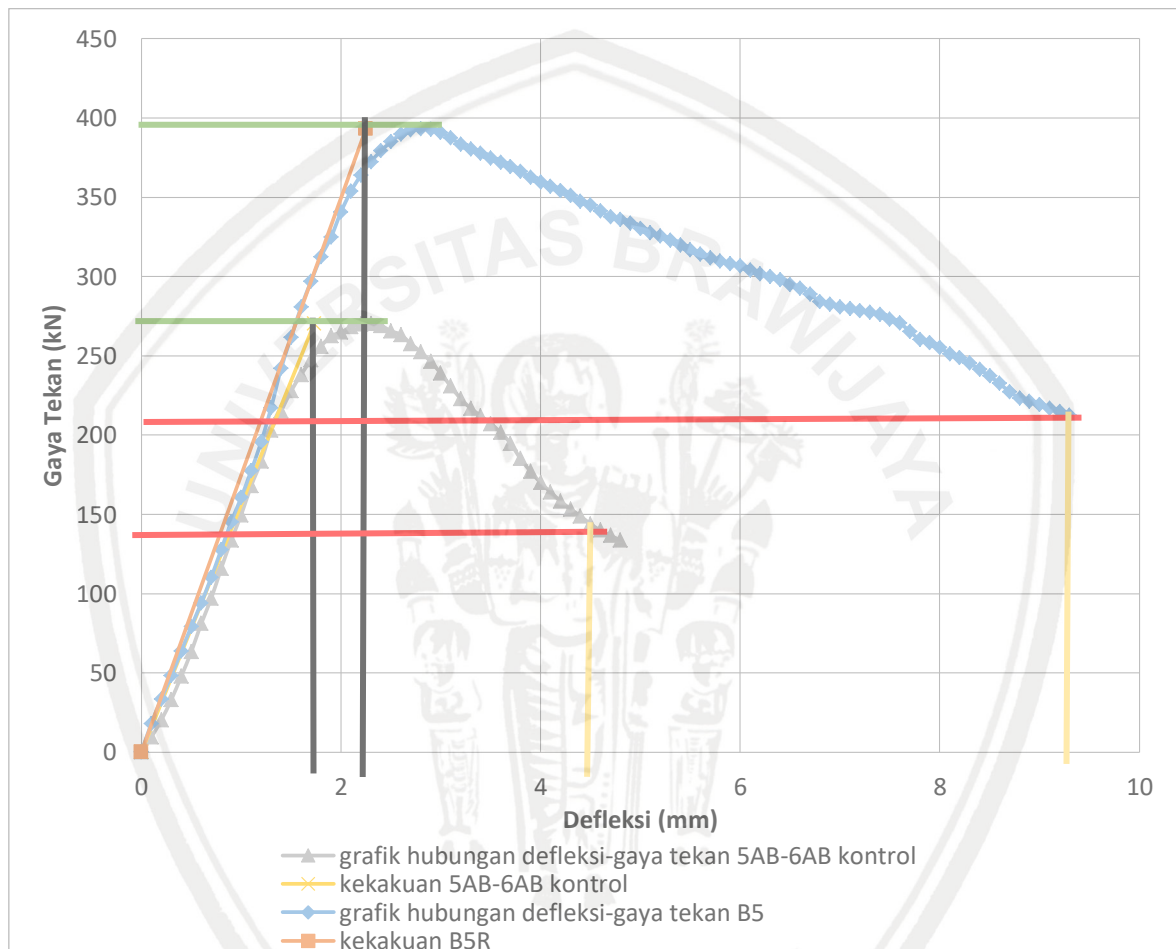


Gambar 4.39. Grafik perbandingan daktilitas kolom kontrol dengan kolom retrofit A6

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom kontrol dengan kolom retrofit A6 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 49,64% beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom kontrol sebesar 2,66 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit A6 sebesar 3,37, apabila di

persentasikan maka terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit A6 sebesar 26,84% dari daktilitas kolom kontrol.

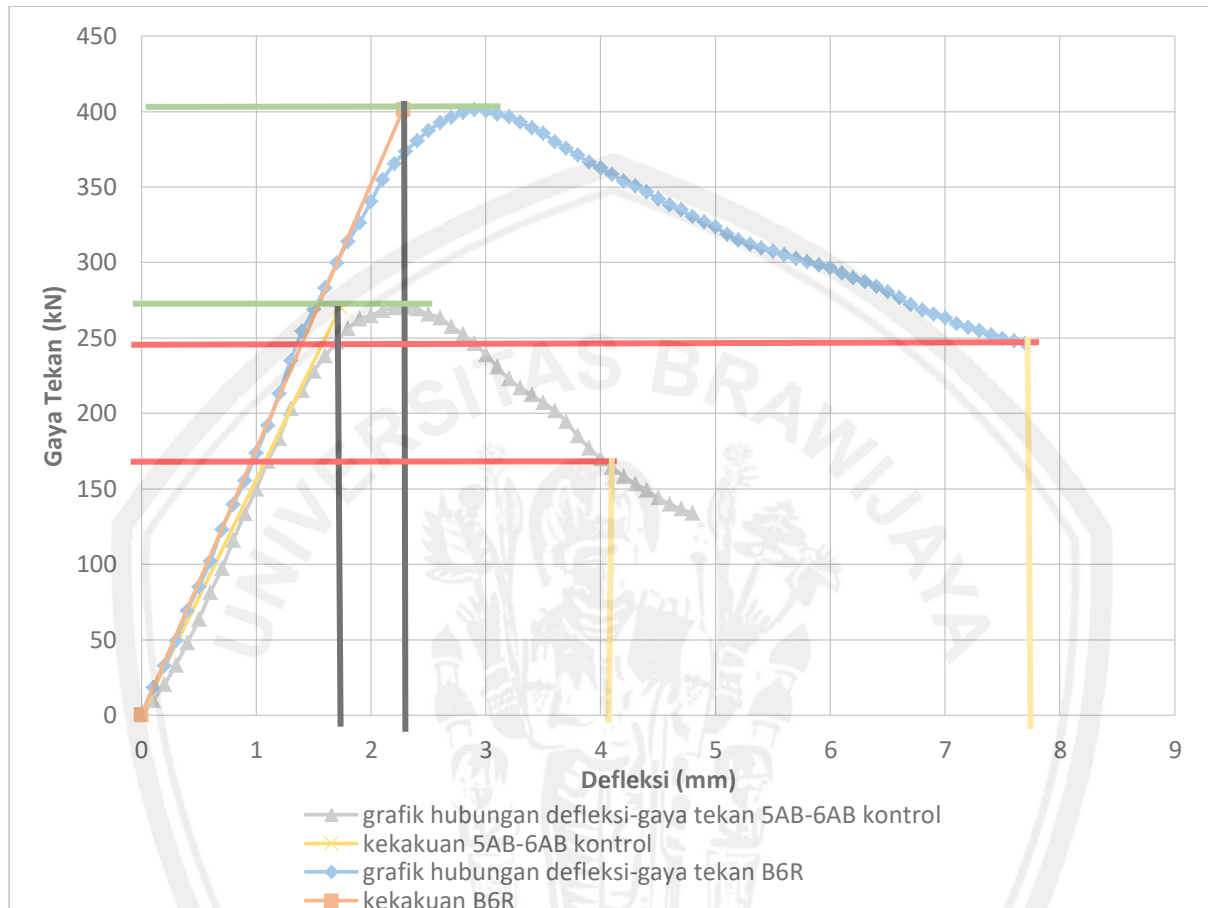
Berdasarkan grafik di atas, diperoleh bahwa kolom retrofit A6 mampu berdeformasi yang cukup panjang hingga mencapai 8,3 mm, dibandingkan dengan kolom kontrol yang hanya mampu berdeformasi hingga 4,61 mm dan kemudian mengalami keruntuhan pada kondisi tersebut, dalam hal ini pada kolom kontrol beban mengalami penurunan dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan kolom retrofit A6.



Gambar 4.40. Grafik perbandingan daktilitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B5

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom kontrol dengan kolom retrofit B5 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 53,37% beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom kontrol sebesar 2,60 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit B5 sebesar 4,18, apabila di persentasikan maka terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit B5 sebesar 60,85% dari daktilitas kolom kontrol.

Berdasarkan grafik di atas, diperoleh bahwa kolom retrofit B5 mampu berdeformasi yang cukup panjang hingga mencapai 9,4 mm, dibandingkan dengan kolom kontrol yang hanya mampu berdeformasi hingga 4,49 mm dan kemudian mengalami keruntuhan pada kondisi tersebut, dalam hal ini pada kolom kontrol beban mengalami penurunan dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan kolom retrofit B5.



Gambar 4.41. Grafik perbandingan daktilitas kolom kontrol dengan kolom retrofit B6

Untuk hasil analisis daktilitas pada kolom kontrol dengan kolom retrofit B6 penentuan deformasi leleh sebesar 75% beban puncak dan deformasi ultimate sebesar 61,35% beban puncak turun. Sehingga didapatkan nilai daktilitas pada kolom kontrol sebesar 2,35 sedangkan nilai daktilitas pada kolom retrofit B6 sebesar 3,38, apabila di persentasikan maka terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit B6 sebesar 43,57% dari daktilitas kolom kontrol.

Berdasarkan grafik di atas, diperoleh bahwa kolom retrofit B6 mampu berdeformasi yang cukup panjang hingga mencapai 7,7 mm, dibandingkan dengan kolom kontrol yang hanya mampu berdeformasi hingga 4,07 mm dan kemudian mengalami

keruntuhan pada kondisi tersebut, dalam hal ini pada kolom kontrol beban mengalami penurunan dalam waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan kolom retrofit B6.

4.10 Efektifitas Kolom Retrofit

Dalam sub bab ini, akan dibahas mengenai efektifitas dari perbaikan kolom . Adapun nilai efektifitas yang dimaksudkan dalam penelitian ini ialah ukuran atau target yang menyatakan seberapa jauh nilai (gaya tekan dan daktilitas) telah tercapai dibandingkan dengan kondisi awal atau *base* suatu data yang dijadikan pembanding dalam penelitian ini. Sebagai contoh pada perbandingan antara kolom asli dan kolom retrofit, digunakan kolom kontrol sebagai dasar pembanding. Sedangkan pada perbandingan antar kolom retrofit, digunakan Kolom retrofit kodel A sebagai dasar pembanding.

4.10.1 Efektifitas Kolom Retrofit A5 dengan Kolom Retrofit B5

Selanjutnya pada penelitian ini, setelah dilakukan perbaikan kolom asli A5 dan kolom asli B5 dalam *initial condition* menggunakan metode *mortar jacketing*, selanjutnya dilakukan pengujian dan mendapatkan data dari penelitian kolom retrofit A5 dan kolom retrofit B5. Adapun variasi kolom retrofit A5 yang digunakan adalah dipasang 4 buah tulangan longitudinal dengan dimensi 10 x 10 mm dengan jarak sengkang 7 cm, dan variasi kolom retrofit B5 adalah dipasang 8 buah tulangan longitudinal dengan dimensi 10 x 5 mm serta jarak sengkang 7 cm.

Tabel 4.31

Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A5 dengan kolom retrofit B5

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		Kekakuan (kN/mm)		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)		Peningkatan Daktilitas (%)
		Kontrol	Retrofit	Kontrol	Retrofit	Kontrol	Retrofit	
1	A5	270,20	437,05	156,07	204,09	3,0228	4,25	4,2519
2	B5		393,21		204,09		3,64	3,4655

Tabel di atas menunjukkan hasil penelitian kolom retrofit A5 dan kolom retrofit B5. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap kedua kolom tersebut, diperoleh bahwa kolom retrofit A5 memiliki peningkatan nilai gaya tekan maksimum sebesar 61,75% dari kolom kontrol, sedangkan kolom retrofit B5 memiliki peningkatan nilai gaya tekan maksimum sebesar 45,52% dari kolom kontrol. Sedangkan nilai kekakuan, dan modulus elastisitas yang diperoleh pada kolom retrofit A5 juga mengalami peningkatan

masing-masing sebesar 30,77% dan 40,66% dari kolom kontrol, dan kolom retrofit B5 mengalami peningkatan kekakuan dan modulus elastisitas masing-masing sebesar 11,95% dan 20,42% dari kolom kontrol. Namun, kolom retrofit A5 memiliki peningkatan daktilitas yang sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan kolom retrofit B5 dimana kolom retrofit A5 memiliki peningkatan daktilitas hanya sebesar 60,65% sedangkan kolom retrofit B5 memiliki peningkatan daktilitas sebesar 60,85%.

Untuk nilai efektifitas kekangan dari konfigurasi tulangan longitudinal kolom retrofit A5 dan B5 dapat diperoleh dari pengaruh nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas dari masing-masing variasi kolom retrofit yang telah dibandingkan, bukan berdasarkan peningkatan nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas dari kolom kontrol (Kontrol kolom Asli A5 dan B5). Alasannya ialah karena nilai kekakuan dan modulus elastisitas dari kolom akan selalu berbanding lurus dengan gaya tekan maksimum dari kolom, jika gaya tekan maksimum dari kolom retrofit memiliki nilai yang lebih besar maka kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit akan memiliki nilai yang lebih besar pula, begitupun sebaliknya. Oleh karena itu nilai efektifitas diambil dari nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas.

Tabel 4.32

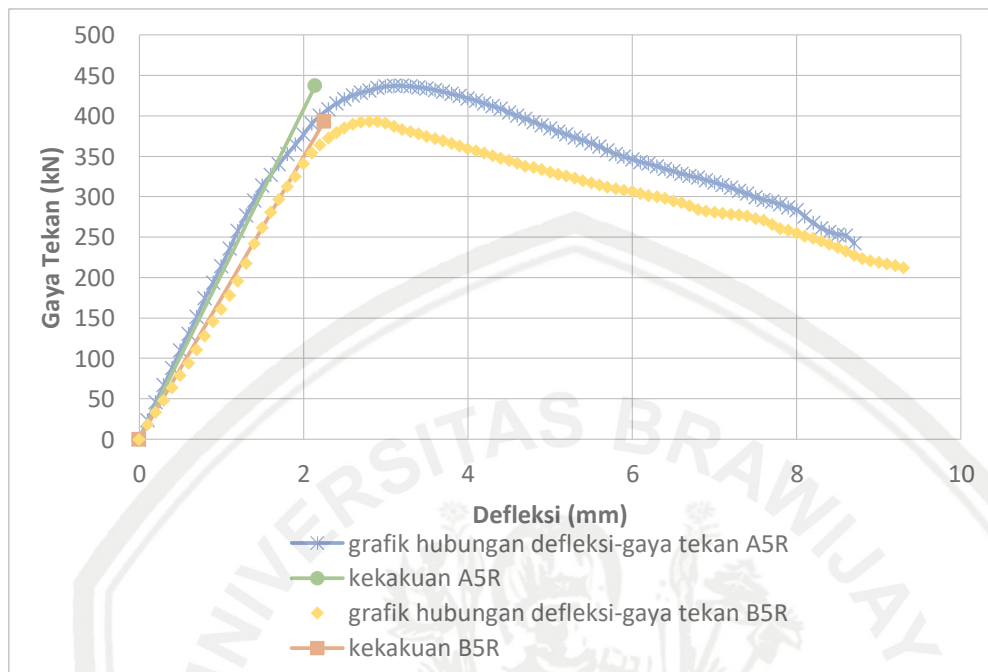
Tabel perbandingan efektifitas kolom A5 dengan kolom retrofit B5

NO	Kode Benda Uji Kolom	Peningkatan Gaya Tekan Maksimum (%)	Efektifitas Gaya Tekan (%)	Peningkatan Daktilitas (%)	Efektifitas Daktilitas (%)
1	A5	61,78	-26,27	60,65	0,33
2	B5	45,55		60,85	

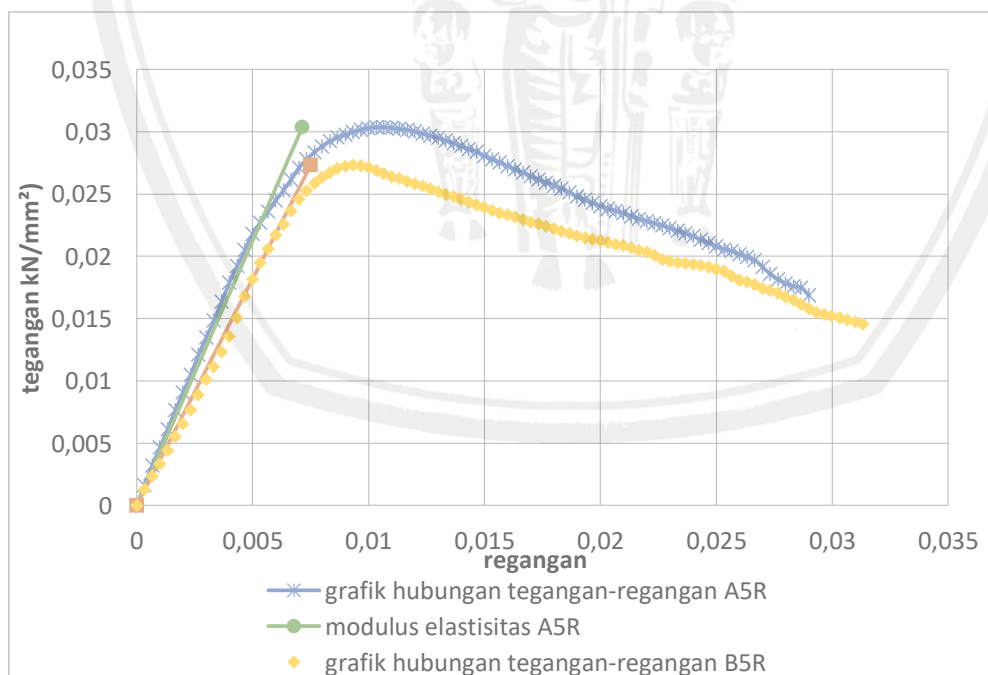
Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel di atas, maka diperoleh kesimpulan bahwa berdasarkan parameter kuat tekan maksimum atau kemampuan aksial kolom, maka kolom retrofit A5 lebih efektif dalam penggunaannya dibandingkan dengan kolom retrofit B5, hal ini dikarenakan efektifitas peningkatan gaya tekan kolom retrofit B5 lebih rendah sebesar 26,27% dibandingkan kolom retrofit A5. Namun, daktilitas yang dimiliki kolom retrofit B5 sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kolom retrofit A5, dimana kolom retrofit B5 memiliki efektifitas lebih besar sebesar 0,33% dibandingkan kolom retrofit A5.

Hal ini dikarenakan karena kolom retrofit B5 memiliki konfigurasi tulangan longitudinal yang lebih rapat, sehingga efek kekangan yang diberikan oleh kolom retrofit

B5 sedikit lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit A5 dan membuat kolom retrofit B5 memiliki waktu yang lebih lama sebelum mengalami kehancuran. Oleh karena itu, jika menilai dari efektifitas kekangan kolom, maka kolom retrofit B5 lebih efektif digunakan dalam perbaikan ini.



Gambar 4.44. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit A5-B5



Gambar 4.45. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom retrofit A5-B5

4.10.2 Efektifitas Kolom Retrofit A6 dengan Kolom Retrofit B6

Pada penelitian ini, setelah dilakukan perbaikan kolom asli A6 dan kolom asli B6 dalam *initial condition* menggunakan metode *mortar jacketing*, selanjutnya dilakukan pengujian dan mendapatkan data dari penelitian kolom retrofit A6 dan kolom retrofit B6. Adapun variasi kolom retrofit A6 yang digunakan adalah dipasang 4 buah tulangan longitudinal dengan dimensi 10 x 10 mm dengan jarak sengkang 11 cm, dan variasi kolom retrofit B6 adalah dipasang 8 buah tulangan longitudinal dengan dimensi 10 x 5 mm serta jarak sengkang 11 cm.

Tabel 4.33

Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A6 dengan kolom retrofit B6

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		Kekakuan (kN/mm)		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)		Peningkatan Daktilitas (%)
		Kontrol	Retrofit	Kontrol	Retrofit	Kontrol	Retrofit	
1	A6		431,94		175,64		3,46	26,84
2	B6	270,20	401,201	156,07	175,99	3,0228	3,67	43,57

Tabel di atas menunjukkan hasil penelitian kolom retrofit A6 dan kolom retrofit B6. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap kedua kolom tersebut, diperoleh bahwa kolom retrofit A6 memiliki peningkatan nilai gaya tekan maksimum sebesar 59,86% dari kolom kontrol, sedangkan kolom retrofit B6 memiliki peningkatan nilai gaya tekan maksimum sebesar 48,48% dari kolom kontrol. Sedangkan nilai kekakuan, dan modulus elastisitas yang diperoleh pada kolom retrofit A6 juga mengalami peningkatan masing-masing sebesar 12,53% dan 14,64% dari kolom kontrol, dan kolom retrofit B6 mengalami peningkatan kekakuan dan modulus elastisitas masing-masing sebesar 12,76% dan 21,29% dari kolom kontrol. Namun, kolom retrofit A6 memiliki peningkatan daktilitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan kolom retrofit B6 dimana kolom retrofit A6 memiliki peningkatan daktilitas hanya sebesar 26,84% sedangkan kolom retrofit B5 memiliki peningkatan daktilitas sebesar 43,57%.

Untuk nilai efektifitas kekangan dari konfigurasi tulangan longitudinal kolom A6 dan B6 dapat diperoleh dari pengaruh nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas dari masing-masing variasi kolom retrofit yang telah dibandingkan, bukan berdasarkan peningkatan nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas dari kolom kontrol (Kontrol kolom

Asli A6 dan B6). Alasannya ialah karena nilai kekakuan dan modulus elastisitas dari kolom akan selalu berbanding lurus dengan gaya tekan maksimum dari kolom, jika gaya tekan maksimum dari kolom retrofit memiliki nilai yang lebih besar maka kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit akan memiliki nilai yang lebih besar pula, begitupun sebaliknya. Oleh karena itu nilai efektifitas diambil dari nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas.

Adapun yang dimaksudkan sebagai efektifitas

Tabel 4.34

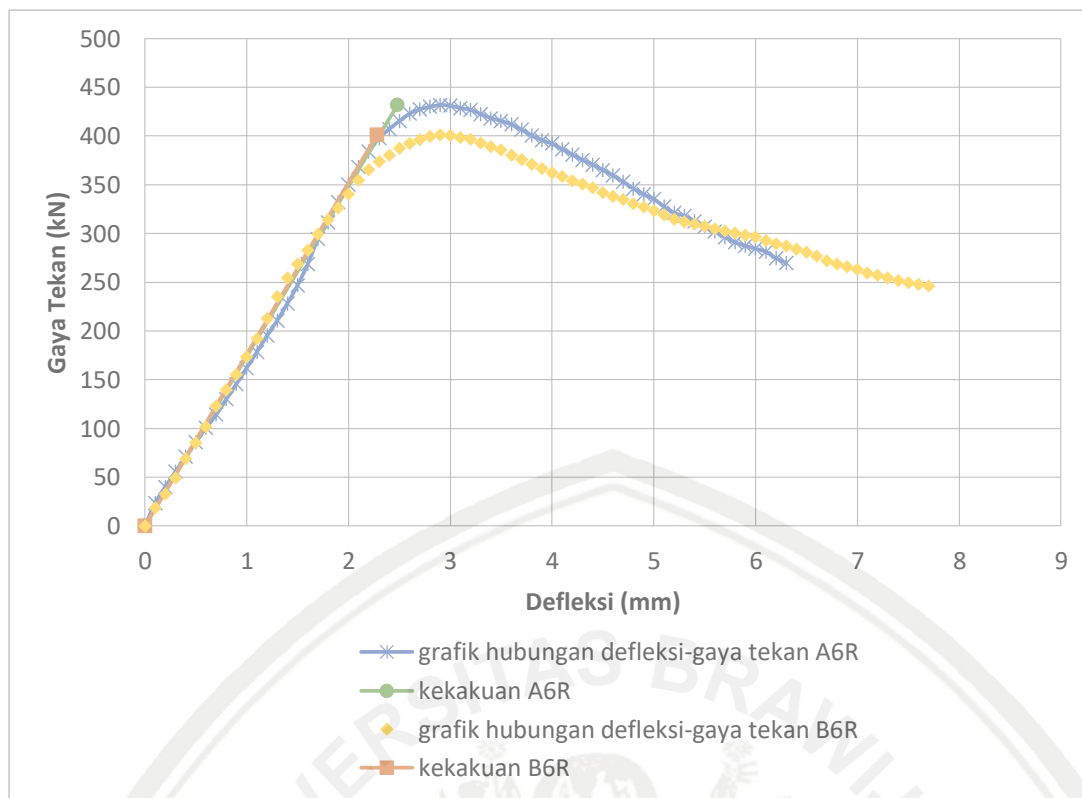
Tabel perbandingan efektifitas kolom retrofit A6 dengan kolom retrofit B6

NO	Kode Benda Uji Kolom	Peningkatan Gaya Tekan Maksimum (%)	Efektifitas Gaya Tekan (%)	Peningkatan Daktilitas (%)	Efektifitas Daktilitas (%)
1	A6	59,89	-19,02%	26,84%	62,33%
2	B6	48,51		43,57%	

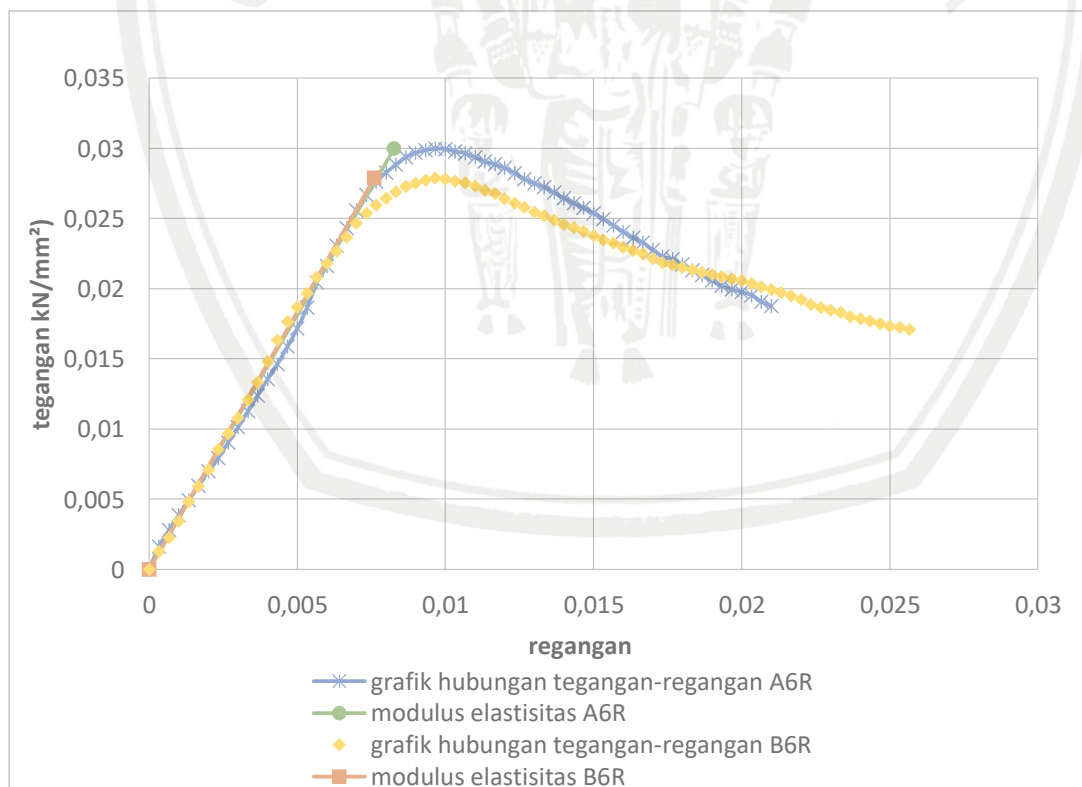
Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel di atas, maka diperoleh kesimpulan bahwa berdasarkan parameter kuat tekan maksimum atau kemampuan aksial kolom, maka kolom retrofit A6 lebih efektif dalam penggunaannya dibandingkan dengan kolom retrofit B6, hal ini dikarenakan efektifitas peningkatan gaya tekan kolom retrofit B6 lebih rendah sebesar 19,02% dibandingkan kolom retrofit A6.

Namun, daktilitas yang dimiliki kolom A6 lebih kecil dibandingkan dengan kolom retrofit B6, dimana kolom B6 memiliki efektifitas lebih besar sebesar 62,33% dibandingkan kolom retrofit A6. Hal ini dikarenakan karena kolom retrofit B6 memiliki konfigurasi tulangan longitudinal yang lebih rapat, sehingga efek kekangan yang diberikan oleh kolom B6 lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit A6. Oleh karena itu, jika mengacu dari efektifitas kekangan kolom, maka kolom retrofit B6 lebih efektif digunakan dalam perbaikan ini.

Berdasarkan hasil tersebut, maka diperoleh kesimpulan bahwa kolom retrofit B6 lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit A6, hal ini dikarenakan efektifitas peningkatan daktilitas B6 jauh lebih tinggi dibandingkan A6.



Gambar 4.46. Grafik perbandingan hasil gaya tekan-defleksi dan hasil kekakuan kolom retrofit A6 – B6



Gambar 4.47. Grafik perbandingan tegangan-regangan dan hasil modulus elastisitas kolom asli dengan kolom retrofit A6 – B6

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dijelaskan sebelumnya, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa keempat variasi kolom retrofit mengalami peningkatan nilai gaya tekan maksimum dibandingkan dengan nilai gaya tekan maksimum kolom kontrol, dimana kolom retrofit A5 mengalami peningkatan 61,75% dari kolom kontrol, kolom retrofit A6 sebesar 59,86%, kolom retrofit B5 sebesar 45,52%, kolom retrofit B6 sebesar 48,48%. Berdasarkan hasil tersebut maka pada perbandingan antara variasi kolom retrofit A5 dan B5 diperoleh bahwa kolom retrofit B5 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dengan dimensi 10 x 5 mm dengan jarak sengkang 7 cm memiliki efektifitas peningkatan gaya tekan maksimum yang lebih rendah sebesar 26,27% dibandingkan kolom retrofit A5 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal dengan dimensi 10 x 10 mm dengan jarak sengkang 7 cm. sedangkan untuk perbandingan antara variasi A6 dan B6 diperoleh bahwa variasi B6 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dengan dimensi 10 x 5 mm dengan jarak sengkang 11 cm memiliki nilai efektifitas peningkatan gaya tekan maksimum yang lebih rendah sebesar 19,02% dibandingkan variasi A6 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal dengan dimensi 10 x 10 mm dengan jarak sengkang 11 cm.
2. Keempat variasi kolom retrofit mengalami peningkatan nilai kekakuan dan modulus elastisitas dari kolom kontrol, kolom retrofit A5 mengalami peningkatan kekakuan dan modulus elastisitas masing-masing sebesar 30,77% dan 40,66%, kolom retrofit A6 masing-masing sebesar 12,53% dan 14,64%, kolom retrofit B5 masing-masing sebesar 11,95% dan 20,42%, serta kolom retrofit B6 masing-masing sebesar 12,76% dan 21,29%. Berdasarkan hasil tersebut maka pada perbandingan antara variasi kolom retrofit A5 dan B5 diperoleh bahwa kolom retrofit B5 memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih kecil masing-masing sebesar 61,17% dan 49,79% dibandingkan kolom retrofit A5. Dan pada perbandingan kolom retrofit A6 dan B6 diperoleh bahwa kolom retrofit B6 memiliki nilai kekakuan dan modulus elastisitas yang lebih besar masing-masing sebesar 1,82% dan 45,43% dibandingkan kolom A6.

Sedangkan berdasarkan nilai efektifitas peningkatan daktilitas diperoleh bahwa kolom retrofit B5 memiliki nilai efektifitas peningkatan daktilitas yang sedikit lebih besar sebesar 0,33% dibandingkan kolom retrofit A5. Namun untuk kolom retrofit B6 memiliki efektifitas peningkatan daktilitas lebih besar sebesar 62,33% dibandingkan kolom retrofit A6.

3. Untuk nilai efektifitas kekangan dari konfigurasi tulangan longitudinal kolom dapat diperoleh dari pengaruh nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas dari masing-masing variasi kolom retrofit yang telah dibandingkan, hal ini karena nilai kekakuan dan modulus elastisitas dari kolom akan selalu berbanding lurus dengan gaya tekan maksimum dari kolom, jika gaya tekan maksimum dari kolom retrofit mengalami kenaikan maka kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit akan mengalami kenaikan pula, begitupun sebaliknya. Namun, dalam penelitian ini karena penampang kolom asli maupun kolom retrofit yang diuji sama, maka efektifitas kekangan akan lebih dipengaruhi oleh daktilitas dari kolom retrofit, bukan dari peningkatan gaya tekan maksimum kolom. Maka berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa untuk perbandingan antara variasi kolom retrofit A5 dan B5 diperoleh bahwa kolom retrofit B5 memiliki efektifitas yang lebih baik, karena memiliki peningkatan daktilitas yang lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit A5. Selanjutnya untuk perbandingan antara kolom retrofit A6 dan B6 diperoleh bahwa kolom retrofit B6 memiliki efektifitas yang lebih baik, karena memiliki peningkatan daktilitas yang lebih besar pula dibandingkan dengan kolom retrofit A6.

5.1 Saran

Saran yang bisa diberikan peneliti untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Dalam penelitian kolom dengan *initial condition*, diperlukan penambahan jumlah kolom kontrol. Disarankan untuk setiap variasi kolom asli memiliki benda uji kolom kontrol yang akan digunakan sebagai perbandingan dalam nilai gaya tekan maksimum kolom. Hal ini dilakukan agar nilai gaya tekan maksimum untuk setiap kolom asli yang tidak diuji lebih akurat untuk dibandingkan nantinya.
2. Untuk ukuran dimensi kolom retrofit diperbesar agar mudah dalam pembuatan benda uji kolom retrofit sehingga tidak ada rongga pada kolom retrofit ketika bekisting dibuka karena pada penelitian ini jarak antara kolom asli dengan kolom retrofit masih terlalu kecil, dan sulit dalam proses pengecorannya.

3. Dalam melakukan pengujian, khususnya uji kuat tekan yang memerlukan pembacaan dial, diperlukan untuk menyiapkan alat dokumentasi lebih dari 1, hal ini untuk menghindari terjadinya hal yang tidak diinginkan pada proses perekaman video, seperti memori alat dokumentasi yang telah penuh sementara proses pengujian masih berjalan.
4. Dalam melakukan penelitian ini, kualitas dan mutu dari material yang digunakan perlu diperhatikan sebelum dilakukan pengecoran. Selain itu, pelaksanaan pengecoran pun perlu diperhatikan agar tidak terjadi kesalahan dalam proses penelitian. Hal ini dikarenakan pada pengecoran mortar, diperoleh nilai kuat tekan yang jauh dari nilai rencana kuat tekan seharusnya, hal ini mungkin saja terjadi karena perbedaan kualitas material yang digunakan ataupun metode yang digunakan pada proses pengecoran.



- Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

- Ashar, Ahmad. 2016. *Perkuatan Kolom Beton Dengan Metode Jacketing Menggunakan Tulangan Bambu*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Cusson, D. dan Paultre, P. 1995. *Stress Strain Model for Confined High Strength Concrete*. Jurnal of Structural Engineering. Vol. 121 (3), halaman 468 – 477.
- Dipohusodo, I. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Ghavami, K. 2005. *Bamboo as Reinforcement in Struvctural Concrete Elements*. J. Cement & Concrete Composites, elevier, 27, 637-649.
- Herlambang, Jevri. 2017. *Pengaruh Konfigurasi Tulangan Longitudinal dari Metode Jacket Beton Bertulang Bambu dengan Sengkang Baja pada Kolom Beton Bertulang*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Kurniansyah, Arry., Elvira., & Yusuf, M. 2013. *Pengaruh Pengekangan (Confinement) dengan Variasi Jarak Sengkang terhadap Peningkatan Kapasitas Kekuatan Kolom*. Tanjungpura : Jurnal Teknik Sipil Vol.13, No.1.
- Loudewik, Regen., Pangouw, J.D. 2013. *Evaluasi Struktur Kolom Kuat Balok Lemah pada Bangunan Beton Bertulang dengan Metode Desain Kapasitas*. Jurnal Sipil Statik Vol. 1, No.9
- Mander, J.B., Priestley, M. J. N., & Park, R. 1988. *Theoretical Stress Strain Model for Confined Concrete*. Jurnal of Structural Engineering. Vol. 114 (8), halaman 1804 – 1826.
- McCormac, JC. 2004. *Desain Beton Bertulang*. Jilid ke-1. Sumargo, penerjemah : Sinamarta L, editor. Jakarta: Penerbit Erlangga. Terjemahan dari : Design of Reinforced Concrete Fifth Edition.
- Morisco. 1999. *Rekayasa Bambu*. Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Nawy, GE. 1985. *Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar*. Suryoatmono B, penerjemah. Bandung : PT. Refika Aditama. Terjemahan dari : Reinforced Concrete – A Fundamental Approach.
- Nurlina, S. 2008. *Struktur Beton*. Bargie Media. Malang.

- Park,R & Paulay,T. 1974. *Reinforced Concrete Structures*. New Zealand : Departement of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Parmo., Tavio., & Soehardjono, Agus . 2013. *Perbaikan Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang yang Mendapat Beban Gempa Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer*. Jurnal Tekonologi dan Kejuruan Vol. 36, No.1
- Rahmasari, Novita. 2018. *Pengaruh Variasi Rasio Tulangan Longitudinal Material Bambu pada Perbaikan Kolom dengan Metode Concrete Jacketing*. Malang : Universitas Brawijaya.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

